

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Ю.Ф. Булгаков, В.Л. Овчаренко

ПЫЛЕВАЯ ОПАСНОСТЬ УГОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности
05.26.01 «Охрана труда в отрасли» и 21.05.04 «Горное дело»

Донецк
2017

УДК 658.(071):622.864.807.33

Пылевая опасность угольного производства/ Ю.Ф. Булгаков В.Л.Овчаренко; под общ. ред. Ю. Ф. Булгакова. – Донецк: ООО «Цифровая типография» 2017.– 234 с.

Рекомендовано Ученым советом Донецкого национального технического университета (ГОУВПО «ДОННТУ») как учебное пособие для студентов горных специальностей (протокол № 9 от 27.10.2017 г.).

Рецензенты:

Новиков Александр Олегович – профессор кафедры «Подземная разработка полезных ископаемых», доктор технических наук, профессор.

Кудинов Юрий Васильевич – ведущий научный сотрудник отдела «Охрана труда на шахтах» МакНИИ, доктор технических наук.

Аннотация

На основании современных представлений о динамике угольной аэрозолей в подземных выработках угольных шахт по литературным источникам рассмотрены вопросы: предупреждения взрывов угольной пыли; заболеваемости шахтёров Донбасса пневмокониозом ; пылевая обстановка в очистных и подготовительных забоях угольных шахт; методов борьбы с пылью в шахтах и на поверхностном комплексе.; пылевой эрозией породных отвалов; методов борьбы с запыленностьюна углеобогажительных фабриках; пылевой опасности при процессах разгрузки, погрузки и перевалки угля на складах угольных терминалов.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Охрана труда и аэрология» Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) зав. кафедрой проф. д.т.н. Ю.Ф. Булгаковым, доц. к.т.н. В.Л. Овчаренко для студентов специальностей 05.26.01 «Охрана труда (по отраслям)» и 21.05.04 «Горное дело».

Учебное пособие может быть полезным: студентам горных специальностей при выполнении курсовых проектов, разделов дипломного проектирования; инженерно-техническому персоналу угольных предприятий, службам охраны труда и промышленной безопасности при принятии решений по определению перечня мер защиты работников угольной отрасли от опасных и вредных факторов угольного производства.

Авторы: Булгаков Юрий Фёдорович – заведующий кафедрой «Охрана труда и аэрология», доктор технических наук, профессор.

Овчаренко Вадим Леонидович – доцент кафедры «Охрана труда и эрология», кандидат технических наук.

Рецензенты: Новиков Александр Олегович – профессор кафедры «Подземная разработка полезных ископаемых» (ДонНТУ), доктор технических наук, профессор;

Кудинов Юрий Васильевич – ведущий научный сотрудник отдела «Охрана труда на шахтах» МакНИИ, доктор технических наук.

© Ю.Ф. Булгаков, В.Л. Овчаренко (ДонНТУ), 2017.

© Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ), 2017.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧАЕМЫХ ДИСЦИПЛИН	8
1.1. Связь изучаемых дисциплин	8
1.2. Цели и задачи изучаемых дисциплин	8
1.3. Основные термины, понятия и определения	11
1.4. Вопросы для самоконтроля	17
2. ПЫЛЕВАЯ ДИНАМИКА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ	17
2.1. Общие положения динамики аэрозолей	17
2.2. Основные определения и численные характеристики рудничных аэрозолей	21
2.3. Размеры частиц угля и дисперсный состав угольной пыли	24
2.4. Аппаратные средства контроля запыленности и пылевзрывобезопасности рудничной атмосферы	25
2.5. Пылевой фактор в угольных шахтах Донбасса	28
2.6. Вопросы для самоконтроля	36
3. ПЫЛЕВОЙ ФАКТОР И ОПАСНОСТЬ ЗАБОЛЕВАНИЯ ШАХТЁРОВ ДОНБАССА ПНЕВМОКОНИОЗОМ	36
3.1. Гигиеническое значение физико-химических свойств пыли	36
3.2. Влияние пыли на организм человека. Профессиональные заболевания	39
3.3. Классификация пневмокониозов	40
3.4. Пылевая обстановка на объектах угольной промышленности и её влияние на заболеваемость шахтёров пневмокониозом	42
3.5. Вопросы для самоконтроля	46
4. ВЗРЫВООПАСНОСТЬ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ	70
4.1. Общие положения	70
4.2. Горючие и взрывчатые свойства угольной пыли	71
4.3. Факторы, оказывающие влияние на взрывчатость угольной пыли	72
4.4. Особенности взрывов угольной пыли в шахтах	74
4.5. Аварийность на угольных шахтах, обусловленная пылевым фактором	75
4.6. Характеристика крупных аварий на шахтах Донецкого Бассейна	82
4.7. Риск аварийности – взрывов угольной пыли	87

4.8. Вопросы для самоконтроля	89
5. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ, ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ	89
5.1. Общие положения	89
5.2. Предварительное увлажнение пластов. Общие положения	92
5.3. Порядок применения предварительного увлажнения угля в массиве	94
5.4. Расчет параметров предварительного увлажнения угольного массива	100
5.5. Показатели пылеотложения и пылевзрывоопасности горных выработок	106
5.6. Пылевзрывозащита угольных шахт	111
5.7. Вопросы для самоконтроля	144
6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ	144
6.1. Предварительные замечания	144
6.2. Расчет параметров сланцевого заслона	146
6.3. Расчет параметров водяного заслона	148
6.4. Недостатки локализации взрывов с использованием водяных и сланцевых заслонов	148
6.5. Гашение вспышек газа автоматическими системами	150
6.6. Вопросы для самоконтроля	159
7. БОРЬБА С ПЫЛЬЮ В ТРАНСПОРТНЫХ И ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ	159
7.1. Пылеподавление на передвижных и полустационарных погрузочных пунктах	159
7.2. Борьба с пылью при работе опрокидывателей и загрузочных устройств	160
7.3. Очистка и обеззараживание воды в подземных условиях для целей пылеподавления	162
7.4. Организация работ по борьбе с пылью и контроль качества применяемых мероприятий по борьбе с пылью	166
7.5. Контроль концентрации пыли в воздухе	170
7.6. Вопросы для самоконтроля	176
8. ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ВОЗДУХА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПОВЕРХНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ	176
8.1. Запыление воздушной среды на технологическом комплексе поверхности угольных шахт	176
8.2. Пылеулавливание на технологическом комплексе поверхности угольных шахт	177

8.3. Пылевой фактор породных отвалов	180
8.4. Вопросы для самоконтроля	186
9. ПЫЛЕВОЙ ФАКТОР ПРИ ОБОГАЩЕНИИ УГЛЯ	187
9.1. Общие положения	187
9.2. Промышленные пылеулавливающие установки на фабриках по обогащению угля	194
9.3. Борьба с пылью на обогатительных фабриках	203
9.4. Рекомендуемые системы аспирации и пылеулавливания	210
9.5. Средства индивидуальной защиты от производственной пыли (СИЗОД)	213
9.6. Вопросы для самоконтроля	
10. ПЫЛЕВОЙ ФАКТОР ПРИ ПОГРУЗКЕ, ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЯ И НА УГОЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛАХ	213
10.1. Предварительные замечания	213
10.2. Комплексное обеспыливание в угольных терминалах и уровни запыленности на рабочих местах	215
10.3. Зарубежный опыт обеспечения экологической безопасности угольных терминалов	219
10.4. Дисперсный состав пыли на различных участках угольных терминалов	222
10.5. Оценка эффективности противопылевых мероприятий	223
10.6. Вопросы для самоконтроля	224
	225
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	226
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	

ВВЕДЕНИЕ

Отложившаяся и витающая угольная пыль при ведении горного производства по добыче угля является фактором, определяющим пылевзрывоопасность горных выработок шахт и производственных помещений предприятий по транспортировке и переработке угля, наносит ущерб экологическому состоянию окружающей среды в районах угольных терминалов по перевалке угля. Твёрдая дисперсная фаза угольных аэрозолей является горючей и при определенных концентрациях способна взрываться. Взрывы угольной пыли в шахтах приводят к массовой гибели шахтёров, носят характер общегосударственной катастрофы. Вдыхание витающей угольной пыли (угольной аэрозоли) связано с возникновением болезней пылевой этиологии пневмокониозом (силикозом, антропокозом, пылевым бронхитом).

Витающая пыль представляет существенную опасность для здоровья работающих и вызывает профессиональные заболевания пылевой этиологией. Технологически угледобычи горнодобывающей промышленности не обеспечивается безопасность работников от действия аэрозолей угольной пыли с твёрдой дисперсной фазой, возрастают выбросы их в атмосферу. Они оказывают негативное влияние не только на общее состояние экологии района, но и на здоровья людей, проживающих в его пределах. Запыленность воздуха в пределах рабочей зоны и за её пределами (в жилой зоне) значительно превышает предельно допустимый уровень (ПДУ = 0.5 мг/м³), в условиях угольных шахт – 2 мг/м³.

Аэрозоли являются динамическими образованиями и их характеристики существенно изменяются по высоте, в пределах сечения выработок, и на их протяжении [1]. Учёт вредного влияния пылевых аэрозолей позволяет своевременно принять меры к их нейтрализации, повышению уровня пылевзрывобезопасности угольных шахт, разработке практических рекомендаций для работников угольных предприятий по снижению уровня заболеваемости пневмокониозами, улучшить пылевую обстановку на предприятиях по переработке и обогащению угля, экологическую обстановку на путях транспортировки и перегрузки угля в угольных терминалах.

Ведение угледобычи в соответствии с рационально разработанными технологическими схемами позволяет решить ряд технических, экологических и социальных вопросов, задач производственной санитарии и гигиены труда.

Настоящее учебное пособие окажет существенную помощь студентам в расширении кругозора в части рассматриваемой проблемы борьбы с пылью в угольном производстве, окажет помощь в формировании серьёзного отношения к данной проблеме и принятию мер к её успешному решению.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧАЕМЫХ ДИСЦИПЛИН

1.1. Связь изучаемых дисциплин

Номенклатура специальностей, утверждённая приказом МОН ДНР от 04.08.2015 г. № 365 содержит следующие специализации: 25.06.01 «Охрана труда (по отраслям)», состоящей из двух частей: часть I – основы охраны труда, часть II – охрана труда в отрасли, основу которой составляют «Правила безопасности» и 21.05.04 «Горное дело» - специальность «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» (ТБГД) с дисциплинами «Система обеспечения безопасности горного производства», «Производственная санитария и гигиена труда», «Аттестация рабочих мест», «Основы обеспечения безопасности опасных производственных объектов» и «Надёжность технических систем и техногенный риск», которые тесно связаны между собой едиными целями, задачами и программами обучения студентов.

1.2. Цели и задачи изучаемых дисциплин

Целью освоения дисциплин является формирование у студентов-выпускников: понимания неразрывной связи профессиональной деятельности человека с обеспечением защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов; формирования системного мышления и мировоззрения в области возникновения травмоопасных ситуации на производстве; умения на практике использовать методы анализа причин производственного травматизма и профессиональных заболеваний и инженерных расчетов по созданию нормальных условий труда, использования методов анализа производственных условий для выявления опасностей и вредностей на рабочих местах и в целом на предприятии, вооружить студентов научными основами производственной санитарии и гигиены труда, методами расчета средств индивидуальной и коллективной защиты от вредных и опасных производственных факторов, научить оценивать надежность и техногенный риск существующих, строящихся и модернизирующихся технических сис-

тем и сооружений на основе выбора критериев оценки уровня их безопасности.

В результате освоения дисциплины студент должен

знать: основы нормативно-правового законодательства Донецкой Народной Республики; принципы государственной политики в области охраны труда, основы производственной санитарии и гигиены труда; основы промышленной пожарной и взрывной безопасности, методы анализа характера взаимодействия человека с производственной средой; специфику и механизм токсического действия вредных веществ; законодательные и нормативно-технические акты, регулирующие производственную санитарию и гигиену труда; содержание законов ДНР «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний», «Об основах охраны труда в ДНР», «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; основные виды отказов технических систем; методы оценки надежности систем различной структуры; основные принципы и способы повышения надежности технических систем; роль и место технологического риска в процессе принятия решений; методы количественной оценки технологического риска; методы моделирования опасных процессов, анализ моделей в интересах снижения риска.

уметь: пользоваться законодательной и нормативной документацией по вопросам охраны труда; выполнить анализ и дать оценку условий труда в части их соответствия нормативным санитарно-гигиеническим требованиям; анализировать и оценивать опасные и вредные факторы производственного процесса и оборудования; пользоваться правовой и нормативно-технической документацией по вопросам производственной санитарии и гигиены труда; оказывать доврачебную помощь пострадавшему, разрабатывать и принимать необходимые технические решения по профилактике промышленной, пожарной и взрывной безопасности, ликвидации техногенных аварий, пожаров и их последствий, пользоваться первичными средствами пожаротушения для ликвидации пожара в начальной стадии; применять средства индивидуальной и коллективной защиты работников; рассчитывать надежность технических систем; производить качественную и количественную оценку риска в техногенной сфере.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у студентов следующих компетенций (за основу формирования компетенций по

охране труда использованы требования, приведенные в МОН ДНР по направлению подготовки **21.05.04 «Горное дело»**, квалификация – специалист):

а) общекультурных:

ОК-1 – способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;

ОК-5 – способностью использовать основы правовых знаний в различных сферах жизнедеятельности, готовностью действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную ответственность;

ОК-7 – готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;

ОК-9 – способностью использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций

б) общепрофессиональных:

ОПК7 – умение пользоваться компьютером как средством управления и обработки информационных массивов;

в) профессиональных:

ПК-14 – готовностью участвовать в исследованиях объектов профессиональной деятельности и их структурных элементов

ПК-20 – разрабатывать, согласовывать и утверждать в установленном порядке технические, методические и иные документы, регламентирующие порядок, качество и безопасность выполнения горных, горно-строительных и взрывных работ;

г) профессионально-специализированных

ПСК-1-5 – владением методами обеспечения промышленной безопасности, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций, - при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых;

ПСК-12-2 – способностью обосновывать средства защиты в чрезвычайных ситуациях и режимы их работы, проводить контроль их состояния, регламентировать эксплуатацию защитной и спасательной техники;

ПСК-12-3 – способностью проектировать системы защиты человека от опасных и вредных факторов производственной среды горных предприятий на основе научно-обоснованных методов и нормативных документов обеспечения безопасного ведения горных работ;

ПСК-12-5 – способностью системно анализировать фундаментальные и прикладные проблемы промышленной безопасности и горноспасательного дела, угрозы промышленной безопасности объектов горного производства и разрабатывать методы их исследования и предотвращения;

ПСК-12-6 – умением организовать работу по анализу состояния условий труда, совершенствованию и модернизации систем, средств и технологий обеспечения промышленной безопасности горного производства, работу по обучению работников культуре безопасности.

Специальности, для которых подготовлено настоящее пособие, относятся к профессиональному циклу учебного плана и базируются на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин. Они реализуются студентом при выполнении практических занятий и курсовых проектов, прохождении производственной, преддипломной практики и государственной итоговой аттестации.

1.3. Основные термины, понятия и определения

Успешное решение проблемы безопасности труда, предотвращения аварий и несчастных случаев на производстве возможно только при осуществлении целостного комплекса научно-технических и организационно-профилактических мер, начальный этап которых состоит в изучении имеющихся и разработке новых показателей оценки аварийности, состояния охраны труда и уровня его безопасности. Состояние аварийности, охраны труда и уровень его безопасности в настоящее время характеризуются ниже следующими понятиями.

Опасность труда определяется потенциальной возможностью воздействия опасного производственного фактора (**ОПФ**) на работающего, что в определенных условиях приводит к травме или другому внезапно резкому ухудшению здоровья.

Безопасность труда определяет исключение воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов (**ОВПФ**).

Охрана труда – система правовых, социально-экономических, организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда (ГОСТ 12.0.002—2003 ССБТ «Термины и определения»).

Опасный производственный фактор – такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапно резкому ухудшению здоровья (ГОСТ 12.0.002—2003).

Вредным производственным фактором называется такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

Техника безопасности – система организационных и технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Технологическая безопасность – это один из аспектов безопасности техногенной среды, определяющий степень защищённости человека, общества, объектов и окружающей среды от угроз, связанных с реализацией имеющихся или новых технологий в производственной деятельности, техника и технология обеспечения безопасной и эффективной реализации геотехнологий добычи твердых полезных ископаемых и рационального использования подземного пространства [Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по специальности 21.05.04 «Горное дело» (квалификация «Горный инженер (специалист)»), утверждённый Приказом Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики «25» декабря 2015 г. № 951].

Авария – это происшествие с повреждением или разрушением производственных зданий, сооружений, аппаратов, машин, установок, горных выработок, при которых произошло травмирование работников или без травмирования.

Рабочее место – пространство оснащённая необходимыми средствами, в которой совершается трудовая деятельность работника или группы работников, совместно выполняющих производственные задания.

Профессиональное заболевание – по это заболевание, вызванное воздействием вредных условий труда.

Технические факторы – это факторы, которые отражают уровень автоматизации и механизации производственных процессов; использования оборудования и рациональной организации рабочего места; применение электронно-вычислительной и управляющей техники; наличие и исправность коллективных средств защиты.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны – это концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 40 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья (ГОСТ 12.1.005-88).

Предельно допустимый уровень (ПДУ) производственного фактора – это такой уровень, воздействие которого при работе установленной продолжительности в течение всего трудового стажа не приводит к травме, заболеванию или отклонению в состоянии здоровья в процессе работы (ГОСТ 12.0.002—2003).

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Критерий отказа – отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа.

Взрыв угольной пыли – быстрое выделение энергии в ограниченном объеме, связанное с внезапным изменением состояния вещества и сопровождающееся обычно разбрасыванием и разрушением окружающей среды (в том числе приводящее к возникновению скачка давления или ударной волны).

Риск – темп реализации опасностей определенного класса. Риск может быть определен как частота или как вероятность возникновения одного события при наступлении другого события (безразмерная величина, лежащая в пределах от 0 до 1).

Запыленность рудничной атмосферы – характеристика рудничных аэрозолей по содержанию в них твердых (угольных, породных) частиц. Запыленность измеряется массовой концентрацией (мг/м^3).

Среднесменная концентрация (ССК) пыли – концентрация вдыхаемой пыли в воздухе, определяемая по результатам непрерывного или дискретного отбора проб в зоне дыхания работающих или в рабочей зоне.

Максимальная разовая концентрация (МРК) пыли – концентрация вдыхаемой пыли в воздухе, определяемая по результатам непрерывного или дискретного отбора проб в зоне дыхания работающих.

ТДУ – уровень, до которого можно снизить запыленность воздуха на рабочих местах при выполнении всех применимых в данных условиях технических средств и осуществлении организационных мероприятий, направленных на борьбу с пылью. Величина ТДУ используется для оценки эффективности систем пылеподавления в очистных, подготовительных или транспортных выработках.

Рудничная атмосфера – смесь газов, паров и пыли, заполняющих рудничные выработки, которая образуется вследствие изменения поступающего в выработки атмосферного воздуха, характеризуемая изменением его состава, а также температуры, влажности и давления.

Аэрозоль преимущественно фиброгенного действия (АПФД) – аэрозоли, вызывающие профессиональные заболевания легких - пневмоко-ниозы, пылевые бронхиты, а также другие хронические заболевания орга-нов дыхания.

Витающая пыль – твердые частицы, находящиеся в рудничной ат-мосфере во взвешенном состоянии.

Зона дыхания – пространство в радиусе до 50 см от лица работника (ГОСТ 12.1.005).

Пылевая нагрузка на органы дыхания работающего (ПН) – ре-альное или прогнозируемое значение суммарной дозы пыли, которую ра-ботающий вдыхает за весь период фактического или предполагаемого контакта с пылью (ГОСТ 12.1.005)

Водораспылительная завеса – водовоздушная среда, создаваемая для предотвращения воспламенения и передачи взрыва метанопылевоздушной смеси при ведении взрывных работ в забоях шахт.

Водяная завеса – водовоздушная среда длительного действия, создаваемая с помощью форсунок для обеспыливания вентиляционной струи и снижения пылеотложения в вентиляционных штреках.

Запыленность рудничной атмосферы – характеристика атмосферы по содержанию в ней твердых взвешенных частиц (пыли), мг/м³.

Концентрация пыли – массовое содержание пылевых частиц в единице объема воздуха, мг/м³.

Лабиринтно-тканевая завеса – водовоздушная среда длительного действия в комбинации с тканевыми перегородками, установленными в лабиринтном порядке, создаваемая с помощью форсунок для обеспыливания вентиляционной струи и снижения пылеотложения в вентиляционных штреках.

Пылевой контроль – систематическое определение содержания пыли в шахтной атмосфере с целью оценки условий труда по пылевому фактору.

Пылеулавливание – улавливание взвешенной угольной пыли в местах ее образования и скопления.

Пылевзрывозащита – комплекс мероприятий по борьбе с отложением, накоплением и воспламенением скопившейся угольной пыли.

Пылевой аэрозоль – аэродисперсная система, состоящая из твердых частиц (дисперсная фаза) в воздухе (дисперсная среда), образующихся в результате производственной деятельности.

Туманообразующая завеса – мелкодисперсная водовоздушная среда длительного действия, создаваемая с помощью туманообразователей для обеспыливания вентиляционной струи и связывания пылеотложений в горных выработках.

Связывающие вещества – материалы, обеспечивающие при определенных условиях (температура, давление и др.) связывание мелкодисперсных материалов в конгломерат.

Смачиватели – поверхностно-активные вещества, способные адсорбироваться на границе двух тел (сред, фаз), понижая свободную энергию поверхности.

Силикоз – пневмокониоз, развивающийся при воздействии пыли, содержащий диоксид кремния (SiO_2);

Карбокониозы – пневмокониозы, вызываемые вдыханием углеродсодержащей пыли (**антракоз**);

Пневмокониозы – это заболевания, связанные с воздействием смешанной пыли (сидеросиликоз, **антракосиликоз**, пневмокониоз);

Пылевой бронхит – профессиональная болезнь бронхов у шахтёров, при которой диффузное поражение их является следствием химического или механического воздействия на слизистые оболочки бронхиального дерева пылевых частиц, находящихся во вдыхаемом человеком воздухе.

Обогащение полезных ископаемых – это совокупность процессов первичной обработки минерального сырья, имеющих своей целью отделение всех ценных минералов от пустой породы, а также взаимное разделение ценных минералов.

Концентраты – продукты, в которых сконцентрирована основная часть ценных минералов и которые по содержанию ценных компонентов и другим регламентируемым характеристикам отвечают требованиям потребителей;

Отходы – продукты с малым содержанием ценных компонентов, дальнейшее извлечение которых невозможно технически или нецелесообразно экономически.

Промежуточные продукты (промпродукты) – продукты, занимающие промежуточное положение по содержанию ценных компонентов между концентратами и отходами и, как правило, подвергающиеся дальнейшему обогащению.

Пылеулавливание – процесс улавливания пыли в местах ее образования с последующим выделением твердой фазы из потоков воздуха или газа.

Циклоны – широко применяемые аппараты для пылеулавливания. Для более эффективного пылеулавливания устанавливают **батарейные циклоны**, состоящие из большого количества (до нескольких сотен) циклонов (элементов) небольшого размера. Диаметр циклонов от 40 до 250 мм.

Рукавный фильтр – установка улавливания пыли на пористой перегородке (фильтроткани) при просасывании через нее запыленного воздуха (по принципу пылесоса).

Электрофильтры – аппараты предназначенные для улавливания пыли крупностью до 0,1 мм. Принцип их работы основан на ионизации воздуха в камере электрофильтра с помощью коронирующего электрода. Электроны и отрицательно заряженные ионы адсорбируются на частицах пыли, которые оседают на заземленных осадительных электродах пластинчатой или трубчатой формы. Электрофильтр состоит из нескольких секций, попеременно отключаемых для разгрузки пыли с осадительных электродов. Эффективность улавливания пыли до 99 %.

Центробежный скруббер – аппарат мокрого пылеулавливания, имеющий цилиндрический корпус, в нижнюю часть которого тангенциально подается запыленный воздух. Под воздействием центробежных сил пылевые частицы вместе с водяными пузырьками оседают на дно скруббера и выходят наружу в виде шлама, чистый воздух выходит через верхнее выходное отверстие.

Мокрый (барботажно-пенный) пылеуловитель – аппарат, в котором запыленный воздух подается в объем жидкости (воды), в которой происходит образование пузырьков диаметром 3-7 мм. Пыль с пузырьками оседает на дно пылеуловителя и удаляется наружу, чистый воздух выходит через верхнее выходное отверстие.

Пенный пылеуловитель – аппарат, в котором запыленный воздух пропускается через слой пены. В слое пены происходит интенсивное смачивание частиц пыли, которые самотеком удаляются вместе с отработанной пеной. Эффективность пылеулавливания – до 99 %.

Вытяжная вентиляция – удаление запыленного воздуха из мест его образования и очистку воздуха от пыли. Свежий воздух поступает благодаря приточной системе вентиляции.

Общеобменная вентиляция – удаление запыленного воздуха из мест его образования и подачу свежего, очищенного и подогретого в зимнее время воздуха для компенсации отсасываемого воздуха.

Сушильная установка – установка для сушки, обогащенного угля. Помещения сушильных оборудуются системами промышленной вентиляции и аспирации для удаления из помещения загазованного воздуха.

Системы аспирации и пылеулавливания – комплекс оборудования, предназначенный для обеспыливания воздуха.

Опрокидыватели вагонов – установка для опрокидывания железнодорожных вагонов в бункер с питателем конвейера транспортирующего уголь на внешний склад угольного терминала.

Станция дробления/грохочения – комплекс оборудования, на котором производится дробление угля, и очистка от породных примесей.

Пересыпные (перегрузочные) станции – промежуточные пункты перегрузки угля на угольных терминалах.

Роторный стакер-реклаймер – экскаваторная установка для отгрузки угля в транспортные средства со склада угольного терминала.

Судопогрузочная машина – установка, осуществляющая отгрузку угля в трюм сухогруза.

Открытые транспортерные ленты – конвейерные установки, предназначенные для транспортировки угля на внешний склад терминала.

1.4. Вопросы для самоконтроля

1. Цели и задачи изучения дисциплин.
2. Основные компетенции, приобретаемые студентами в процессе получения образования.
3. Основные термины и определения .

2. ПЫЛЕВАЯ ДИНАМИКА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

2.1. Общие положения динамики аэрозолей

Производственная пыль является одним из широко распространенных неблагоприятных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье работающих [1–3]. Она встречается на подавляющем числе производств, где самые разнообразные технологические процессы и операции сопровождаются образованием и выделением пыли в зону влияния на большие контингента работающих. Производственной пылью называют взвешенные в воздухе, медленно оседающие твердые частицы размерами от нескольких десятков до долей мкм. Пылеобразование происходит при дроб-

лении, размол, перетирке, шлифовке, сверлении, фасовке, упаковке, переработке сельхозпродукции, складской обработке грузов, погрузочно-разгрузочных операциях, транспортировке и т.д. Пыль образуется также в результате конденсации паров тяжелых металлов и других веществ.

Пыль представляет собой аэрозоль – дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсионной средой – воздух. Производственную пыль классифицируют по происхождению, способу образования и размерам частиц (дисперсности).

В зависимости от способа образования различают аэрозоли дезинтеграции и конденсации. Аэрозоли дезинтеграции образуются при механическом измельчении, дроблении и разрушении твердых веществ (бурение, размол, взрыв пород и др.), при механической обработке изделий (очистка литья, полировка и др.). Аэрозоли конденсации образуются при термических процессах возгонки твердых веществ (плавление, электросварка и др.) вследствие охлаждения и конденсации паров металлов и неметаллов, в частности, полимерных материалов - пластмасс, в результате термической обработки которых образуются парогазоаэрозольные смеси, содержащие твердые, жидкие частицы, газы и пары сложного химического состава. Размер частиц производственной пыли изменяется от долей мкм до 100 мкм. В зависимости от дисперсности различают видимую пыль размером более 10 мкм, микроскопическую - размером от 0,25 до 10 мкм, ультрамикроскопическую - менее 0,25 мкм.

Современные способы подземной добычи угля характеризуются образованием значительного количества угольной пыли (угольной аэрозоли) и выделением ее в атмосферу горных выработок [1, 2]. Шахтная (рудничная) пыль – совокупность тонкодисперсных минеральных частиц, образующихся из ископаемого угля и пустой породы и находящихся во взвешенном или осевшем состоянии в горных выработках. Размеры частиц пыли в поперечнике изменяются от 1 мм до долей микрона. Взвешенные частицы пыли называют пылевым аэрозолем, осажденную пыль – аэрогель. При измельчении угля увеличивается площадь его поверхности, а образующиеся пылинки получают некоторое количество электричества при переходе механической энергии в электрическую [1], кроме этого, пылинки получают электрический заряд за счёт адсорбции ионов из воздушной среды. Степень электрозаряженности оказывает существенное влияние на поведение пыли в воздухе: пылинки с противоположным знаком соединяются между собой, образуя более крупные частицы, за счет чего быстрее осаждаются; пылинки с оди-

наковым зарядом, наоборот, отталкиваются друг от друга, что усиливает их движение в воздухе и замедляет осаждение. На скорость осаждения пылинок оказывает влияние также и дисперсность аэрозолей [4, 5]. Мельчайшие частицы размером 0,01 – 0,1 мкм могут находиться в воздухе длительное время в состоянии броуновского движения. Более крупные оседают из воздуха со скоростью, обусловленной размером и удельным весом. Скорость оседания крупных частиц определяется законом Ньютона (с ускорением силы тяжести), мелких – от 0,1 до 100 мкм законом Стокса (с ускорением свободного падения).

Высокодисперсная угольная пыль вследствие электростатической заряженности [1, 2] обладает активной поверхностью, поэтому на ней собираются газы и другие мелкие частицы, находящиеся в воздухе. Чем меньше пылевые частицы, тем больше их активность. Газы, обволакивая пылевую частицу, способствуют более длительному витанию ее в воздухе, то есть собираются на пылевых частицах газов замедляет осаждение пыли. При значительной запыленности воздуха высокодисперсной пылью электрические заряды пылевых частиц могут суммироваться и, достигнув определенного потенциала, образовывать электрические разряды — взрывы. Чаще всего такие взрывы пыли возникают при наличии огня или сильно нагретого предмета в чрезмерно запыленной атмосфере, так как при повышении температуры резко увеличивается заряженность пылевых частиц, быстрее и с большей силой происходит электрический разряд.

В рудничных аэрозолях [1, 6] наиболее значимыми процессами являются – осаждение (седиментация), коагуляция (адгезия, аутогезия), турбулентная диффузия и испарение частиц. Коагуляция оказывает существенное влияние на процессы перемещения и траекторию аэрозолей в струе воздуха в местах интенсивного водяного пылеподавления.

Число частиц в аэрозолях исчисляется цифрами более 10^9 [1]. Так, материальная частица (угольная, породная и др.) объемом 1 мм^3 условно может быть разделена на 1 млрд одномикронных кубических частиц (10^9 объектов). В реальных условиях при проведении 1 м горной выработки сечением 22–24 м² в разрушенном угле содержится 8–11% частиц размером 0–1 мм, из них в рудничную атмосферу выделится не менее 30 кг витающих частиц размером 0,1–280 мкм (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Количество частиц отдельных фракций в 30 кг пыли при проходке 1 м выработки

Размер частиц, мкм	Доля фракции, %	Масса фракции, кг	Число частиц (не менее)
1	0,1	0,03	$1,27 \cdot 10^{14}$
3	0,4	0,12	$1,89 \cdot 10^{13}$
10	1,1	0,33	$1,40 \cdot 10^{12}$
25-31	3,5	1,17	$1,84 \cdot 10^{11}$
100	0,7	0,21	$8,91 \cdot 10^8$

Сумма частиц по всем фракциям [1] в табл. 2.1 составит число порядка 10^{15} – 10^{16} объектов, поэтому их движение не может отслеживаться индивидуально. Непрерывный характер осаждения частиц всех фракций пыли во время горизонтального полета (витания) носит вероятностный характер. В связи с этим процесс отложения аэрозоля может быть представлен в виде непрерывной функции зависящей от расстояния и диаметра частиц пыли, как функции двух переменных. При этом наблюдается разброс в дальности полета частиц обусловленный случайными факторами: формой частиц, образовавшихся при разрушении твердого вещества, наличием в них пор, окислительных пленок, разницей в вещественном составе и плотности и других факторов. В турбулентном потоке к указанным случайным факторам добавляются турбулентные пульсации аэрозольной среды, которые оказывают влияние на её осаждаемость. Изменение концентрации пыли ($\text{мг}/\text{м}^3$) при перемещении аэрозолей по длине выработки может задаваться в виде функции двух переменных – скорости потока воздуха ($Vв$) и расстояния от источника пылевыделения (lu). Если ($Vв < Vкр$) функция концентрации пыли имеет убывающий характер [1]. В связи с этим, для практического использования применимы результаты работ J. G. Dawes (1952) [9, 10]: для угольной пыли $Vкр = 5$ м/с, для породной пыли $Vкр = 8$ м/с, а также экспериментальные данные по шахтам Донбасса, Кузбасса [1, 7], в которых для угольной пыли $Vкр = 2,0$ – $4,5$ м/с, для породной – $Vкр = 1,5$ – $3,5$ м/с. Для осаждаемых фракций с ростом скорости потока воздуха процессы осаждения замедляются и общее убывание концентрации менее интенсивно.

Рост скорости потока воздуха [1, 2] приводит к переносу аэрозоли на большие расстояния (эрозия – вынос единичных частиц, денудация – вынос агрегатных образований). Изучение динамики аэрозолей угольных частиц с твердой дисперсной фазой является важным для процессов пылеотложения,

в связи с образованием потенциально взрывоопасной концентрации. При нормальном развитии технологического процесса концентрация витающих частиц значительно ниже **нижнего предела взрываемости метана (НПВ)**, поэтому именно отложившаяся пыль потенциально взрывоопасна. Концентрация 2000 мг/м^3 , принятая в качестве максимально возможной концентрации витающей пыли (DMT, Германия). Фактически, реальные концентрации витающей пыли в 120–1000 раз ниже НПВ. Экспериментальные данные с пофракционным анализом процессов осаждения пыли указывают на то, что масса осажженной пыли (витающих фракций) прямо пропорциональна скорости потока воздуха [1], поэтому объем выносимой тонкодисперсной пыли в «осаждаемую» область увеличивается.

2.2. Основные определения и численные характеристики рудничных аэрозолей

Для угольной отрасли промышленности наиболее характерны аэрозоли, образованные витающими в рудничной атмосфере мелкими частицами диспергируемой (разрушаемой) горной массы (угля, вмещающих пород), т.е. дисперсионные аэрозоли с твердой фазой [1, 2, 6, 11-19]. В рудничной атмосфере возможно присутствие диспергированной воды как следствие функционирования систем орошения (пылеподавления).

Дисперсионные аэрозоли с жидкой дисперсной фазой имеют частицы с правильной, близкой к шарообразной форму и в ходе слияния (коагуляции) создают правильную шарообразную частицу большего диаметра. В случае твердой дисперсной фазы аэрозоли состоят из индивидуальных или слабо агрегированных частиц неправильной формы с широким диапазоном их размеров. Твердые частицы образуют агрегаты, плотность которых может быть во много раз меньше плотности вещества, из которого они состоят [14, 19].

Конденсационные аэрозоли образуются при объемной конденсации пересыщенных паров и в результате газовых реакций, ведущих к образованию нелетучих продуктов (конденсационный туман, снег, сажа). В конденсационных аэрозолях твердые частицы представляют собой рыхлые агрегаты из большого числа частиц, имеющих на уровне первичных составляющих правильную кристаллическую или шарообразную форму. Исходя из разницы физических принципов формирования твердой фазы дисперсионных и конденсационных аэрозолей существенно различаются форма и плотность частиц, а также их склонность к коагуляции. Это вносит различия в склонность

частиц к витанию, а также к определению горизонтальной и вертикальных дальностей полета частиц для дисперсионных и конденсационных аэрозолей.

Наиболее распространенной характеристикой рудничных аэрозолей по содержанию в них твердых (угольных, породных) частиц является запыленность рудничной атмосферы [16]. Запыленность измеряется массовой концентрацией ($\text{мг}/\text{м}^3$), при этом по размерам частиц различают следующие контролируемые параметры:

- концентрация витающей пыли C_v – массовое содержание частиц размером от 1 до 74–100 мкм в единице объема воздуха (общая масса), $\text{мг}/\text{м}^3$ [1, 2, 6, 16];

- концентрация респирабельной (тонкой) фракции пыли C_p – массовое содержание частиц с диаметром от 0,1 до 5–7 (10) мкм;

- концентрация торакальной фракции пыли – частиц от 0,1 до 20–35 мкм; концентрация грубой фракции пыли – разница между C_v и C_p .

Кроме указанных на практике проводятся измерения концентрации пыли, связанные с определенными этапами технологического процесса и отличающиеся длительностью замера:

- среднесменная концентрация (**ССК**) пыли – концентрация вдыхаемой пыли в воздухе, определяемая по результатам непрерывного или дискретного отбора проб в зоне дыхания работающих или в рабочей зоне за промежуток времени, составляющий не менее 75% продолжительности смены при основных и вспомогательных операциях, а также при перерывах в работе с учетом их длительности в течение смены;

- максимальная разовая концентрация (**МРК**) пыли – концентрация вдыхаемой пыли в воздухе, определяемая по результатам непрерывного или дискретного отбора проб в зоне дыхания работающих или в рабочей зоне за промежуток времени, равный 30 мин, при развитии технологического процесса, сопровождающегося максимальным выделением пыли.

С физиологической точки зрения основной нормой является предельно допустимая концентрация (**ПДК**) пыли в воздухе рабочей зоны – это концентрация вдыхаемой пыли ($\text{мг}/\text{м}^3$), которая при нормируемой продолжительности рабочего дня (но не более 41 ч в неделю) в течение всего трудового стажа работающего не может вызвать у него заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых в процессе работы или в отдаленные сроки жизни.

Если на рабочих местах концентрация пыли постоянно превышает ПДК, то для данных рабочих мест определяют класс условий труда [17, 18] и степень вредности при профессиональном контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного действия (АПФД). В условиях повышенной запыленности воздуха применяются специальные устройства обеспыливания, которые (например, аспирационные системы, имеющие в своем составе вентилятор) содержат дополнительный мощный источник шума. При этом возникает необходимость оптимизации условий труда одновременно по факторам пыли и шума.

Условия труда при наиболее неблагоприятном содержании в воздухе угольной пыли с концентрацией более 10 ПДК (для угольной пыли – более 100 мг/м³) относятся к классу 3.4, а при эквивалентном уровне звука более 115 дБА [17, 18] рабочее место относится к классу 4 и подлежит реконструкции либо ликвидации. Это необходимо учитывать на стадии проектирования аспирационных систем борьбы с пылью.

Действие пыли на организм при вдыхании запыленного воздуха носит накопительный характер [17]. Важно, каким способом осуществляется дыхание: через нос или через рот. Значительная часть пыли (до 90%) задерживается слизистой оболочкой носа, носоглотки, трахеи, бронхов по мере прохождения ее по дыхательному тракту, другая часть проникает в нижние дыхательные пути и там задерживается. Частицы с аэродинамическим диаметром менее 1 мкм выдыхаются с выходящим воздухом.

При продолжительном воздействии пыли уменьшается защитное действие слизистой оболочки, происходят изменения в верхних дыхательных путях, приводящие к заболеванию пылевым бронхитом. Длительный контакт с мелкими фракциями пыли (до 5 мкм) может привести к заболеванию пневмокониозом (селикозом, антракозом, пылевым бронхитом).

По данным институтов по безопасности работ в угольной промышленности (ВостНИИ, МакНИИ), уровень заболеваний пневмокониозами и пылевым бронхитом (пылевой этиологии) составляет 35–50% от общего числа профессиональных заболеваний шахтеров. В работе [19, 20] приведены данные за 2000–2001 гг., в которых заболевания органов дыхания составили 36–38% от общего числа заболеваний.

Исследователями [6, 9, 10, 17, 20-26] выделяются следующие аспекты пылевой проблемы для шахт:

- значительная часть профессиональных заболеваний горнорабочих пылевые бронхиты и пневмокониозы;

- присутствие в воздухе взвешенной пыли уменьшает нижний предел взрываемости (НПВ) метана, при этом пыль может привести к расширению ограниченной вспышки метана и к взрыву, носящему характер общегосударственной катастрофы;

- пыль может возгораться и взрываться при полном отсутствии горючих газов в шахте;

- участие пыли во взрыве характеризуется высокой температурой, наличием фронта пламени, выделением значительных объемов оксида углерода, избыточным давлением во фронте ударной волны, в десятки раз превосходящим его безопасные для человека значения.

Кроме указанных необходимо выделить психологический фактор:

- особенности человека таковы, что люди не склонны предавать большое значение «отложенной» опасности вне зависимости от ее величины и угрозы для жизни.

Для взрыва пыли требуется, чтобы одновременно произошло несколько событий:

- накопилось значительное (в десятках г/м^3) пылеотложение; возник импульс, переводящий частицы во взвешенное состояние;

- появился мощный источник воспламенения.

Поскольку число людей, переживших воспламенение угольной пыли, близко к нулю, профессиональное выработка смысловой логической цепочки «пыль – возможность воспламенения – угроза жизни» отсутствует.

Особую роль пылевого фактора в вопросе промышленной безопасности (как профессиональной вредности и взрывоопасности) заключается в том, что «непыльных» шахт не существует [9, 24-26]. Доля пылевых фракций полезного ископаемого (0–1 мм) для среднего угольного предприятия исчисляется миллионами тонн в год.

2.3. Размеры частиц угля и дисперсный состав угольной пыли

Витающая либо отложившаяся пыль состоит из частиц, значительно различающихся как по форме, так и по размеру. Для аэрозолей с жидкой фазой частицы имеют форму, близкую к шару, поэтому их размер однозначно характеризуется величиной диаметра (d) или радиуса (r) частицы. Для аэрозолей с твердой фазой используют несколько различных характеристик условных диаметров частиц, приводящих размер частицы к форме правильно-

го шара [27]. При этом величину диаметра d^1 определяют по скорости осаждения частиц.

В целом, объектами учения об аэрозолях являются системы, лежащие в огромном интервале дисперсности при диаметре, изменяющемся от 10^{-9} до 10^{-3} м [8, 12, 13, 28-30, 31-34]. Непосредственно в рудничной аэрогазодинамике исследуются частицы от 1 до 74 (100) мкм и пыль рассматривается как полидисперсная система. Дисперсный (фракционный) состав пылевого аэрозоля – это количественное соотношение в пыли частиц различных размеров (фракций).

Для случайных величин, описывающих процессы пылеобразования, существенное значение имеет закон Гаусса. Случайная величина – аэродинамический диаметр частиц при разрушении горного массива – является суммированием многих случайных процессов как горно-геологического, так и техногенного происхождения. Величины, образующиеся в результате суммирования независимых либо слабозависимых случайных слагаемых (в математической форме – в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятности), распределены по нормальному закону [1, 15, 35-37].

2.4. Аппаратные средства контроля запыленности и пылевзрывобезопасности рудничной атмосферы

Измерение концентрации пыли основано на нескольких физических принципах. Приведем главные из них.

1. Гравиметрический (массовый, весовой) метод измерения, основанный на взвешивании частиц, предварительно осажденных на фильтре в результате прокачивания через него определенного объема запыленного воздуха. Несмотря на значительную погрешность измерений [34], данный метод принят в качестве эталонного.

2. Оптический метод измерения, основанный на измерении величины светового потока, поглощенного или рассеянного частицами пыли.

3. Радиоизотопный метод измерения, основанный на определении массовой концентрации по поглощению радиоактивного излучения пылевыми частицами.

¹В соответствии с обозначениями в теории вероятности случайная величина обозначается прописной буквой (для диаметра — D), а ее текущие значения — строчной (d).

4. Метод измерения пропускной способности запыленного фильтра.

Преимущества методов первой группы: непосредственное получение массовой концентрации при взвешивании фильтров (прямой метод измерения), возможность измерения средних по сечению концентраций. Недостатки - циклический характер измерения, длительность пробоотбора до получения привеса не менее 1–5 мг, проведение дополнительных работ по удалению влаги и др

Преимущества второй группы: непосредственные измерения в пылевой среде, непрерывность измерений, низкая инерционность, оперативная цифровая индикация показаний. Недостатки – влияние дисперсного и вещественного составов пыли на результаты измерений, необходимость настройки приборов с учетом особенностей замерной точки.

В процессе использования приборов при всех методах измерений крайне важной и трудоемкой задачей является получение представительной пробы. Эффективность методов находится в прямой зависимости от погрешности пробоотбора.

Пылегазовая среда является неустойчивой аэродисперсной системой. Это вносит значительные трудности в создание пылевых эталонов.

В странах СНГ более 40 лет контроль запыленности проводился практически единственным прибором в рудничном исполнении – аспиратором АЭРА, принцип работы которого основан на весовом методе. В аспираторе с заданной скоростью при помощи эжекционного устройства производится протягивание определенного объема шахтного воздуха через фильтр в пылевой трубке. Эжекционное устройство приводится в действие сжатым воздухом, поступающим из стального баллона. Прибор имеет большие габариты и вес (8 кг), время работы от одного баллона – 45 мин. Постоянство скорости протягивания рудничного воздуха обеспечивается автоматическим регулятором в виде трубки Вентури. Так как все ведущие угледобывающие страны, включая Россию, перешли на учет среднесменных пылевых нагрузок, возникла необходимость создания индивидуальных пылепробоотборников с временем измерений не менее 4–6 ч. Для осуществления гигиенического контроля выпускались индивидуальные дозиметры и пробоотборники: ДП-1 (ОАО «Логика», Московская обл.), МРGII и ТВF-50 (Германия), СIP-10 (Франция), 113А и 115 (Англия) [9].

В странах ЕС допущены к применению три основных прибора – пылемеры СIP-10, ТМ-data и FMA-TMS1, [9, 36]. При этом СIP-10 и ТМ-data используются в качестве эталонных средств измерения на шахтах и в научных

центрах (DMT, Германия; КД «Барбара», Польша). Пылемер СІР-10 предназначен для производственного или гигиенического контроля, полностью соответствует требованиям российских и европейских норм. Время автономной работы СІР-10 — до 36 ч, он может размещаться как стационарный измеритель с определением средней за период измерения концентрации пыли (20–30 мин при определении МРК, ССК либо среднесуточной концентрации). СІР-10 оснащается тремя измерительными головками с целью выполнения требований СЕN 481 и ISO TR 7708, а также норм СанПиН 2.2.3.570-96, ГН 2.2.5.686-98, Р 2.2.755-99, касающихся отбора проб определенных фракций аэрозолей.

В Германии разработана приборы серии ТМ [5, 16] в виде переносных и стационарных приборов для измерения тонкодисперсной пыли, они применяются для контроля: концентрации пыли на рабочих местах, пылящих технологических процессов, пылеулавливающих установок, управления технологическими процессами, качества, оценки источников пылеобразования, мероприятий по борьбе с пылью, компоновки аэродинамических установок.

Оптический прибор «ТМ-дигиталь μP » для измерения концентрации тонкодисперсной пыли работает на принципе рассеяния света в диапазоне измерений от 0,01 до 99,99 ед. Питание от сети или кадмиевой батареи 8 часов. Измеряет средний уровень запылённости в течение 5 с.

Оптический прибор «ТМdata». Принцип работы прибора аналогичен «ТМ-дигиталь μP ». Осуществляет измерение текущих и средних величин в интервале 5 с до 24 ч. Хранение в памяти 1023 определений средних значений концентрации. Накопление данных осуществляется от начала до конца замеров.

Для приборов «ТМ-дигиталь μP » и «ТМdata» поставляются следующие системы оценки измеренных данных:

1. Самопишущий прибор с непрерывной записью.
2. Матричное печатающее устройство.
3. Переносная установка для обработки данных.
4. Стационарная установка для обработки данных.

С помощью второй, третьей и четвёртой систем возможно как цифровое, так и графическое изображение и оценка. Непрерывная выдача данных с помощью «ТМ-дигиталь μP » возможна только с помощью самопишущего прибора с непрерывной записью.

Оптическая стационарная установка «FMA-TMS 1» для измерения концентрации тонкодисперсной пыли работает по такому же принципу, как и «ТМ-дигиталь μP ». Она предназначена для длительных автоматизированных замеров с самоконтролем. Установка отличается простотой монтажа и удобством в обслуживании и предназначена для измерения тонкодисперсной пыли на поверхности и в шахте, непрерывного контроля за пылеулавливающими установками, управления технологическими процессами.

Оптический прибор «ТМ-Е» работает по аналогичному принципу и рекомендуется для измерения выбросов вредных веществ. В нём используется оптика, которая позволяет подавлять световые помехи, расширяет диапазон измеряемых концентраций пыли от значений меньших 1 мг/м^3 до нескольких сотен мг/м^3 . Оптика защищена от загрязнения продувкой чистым воздухом, пластинчатый насос обеспечивает отсос аэрозоля со скоростью более 10 м/с . Прибор применяется для контроля выброса вредных веществ на тепловых электростанциях, чистоты помещений и т.д.

Многофункциональный измерительный блок, состоящий из приборов «FMA-TMS 1/ТМ-Е», в комплект которого входит до 32 измерительных приборов при расстоянии между ними и ЭВМ до 200 м. В блоке предусмотрена возможность подключения датчиков скорости, температуры влажности воздуха и др.

2.5. Пылевой фактор в угольных шахтах Донбасса

Оценка запылённости воздуха горных выработок

Оценка запылённости горных выработок угольных шахт Донбасса может быть произведена по ряду показателей [16, 35]: динамика концентрации пыли в выработках шахты в реальном отсчёте времени; дисперсионный и элементный состав пыли. Показатели на рабочих местах основных профессий горнорабочих варьируют в широком диапазоне (табл. 2.2).

При чём, уровни запылённости на рабочих местах в сотни раз превышают ПДК с учётом содержания двуокиси кремния в составе угольной пыли, которая на шахтах с крутым залеганием пластов составляет 3.3% (марка угля Г, К, Ж, ОС, Т, ПА), на шахтах с пологим залеганием пластов – 3,0-5.5% (марка угля Д, Г, К, Ж, ОС, Т, ПА, А) [16].

Степень дисперсности рудничной пыли зависит от физикомеханических свойств угля, способа его разрушения, вида погрузки и транспортиро-

вания горной массы, способности пылевых частиц переходить во взвешенное состояние, скорость и степень турбулентности воздушных потоков, и другие факторы.

Таблица 2.2 – Запылённость воздуха на рабочих местах горнорабочих

Профессия	Среднесменная запылённость воздуха, мг/м ³		Максимальное значение запылённости воздуха, мг/м ³	
	По всей массе пыли	По тонкой фракции (<7 мкм)	По всей массе пыли	По тонкой фракции (< 7 мкм)
Машинист комбайна	70-770	7-77	4500	350
Помощник машиниста	70-310	7-31	2500	250
Горнорабочий очистного забоя: при выемке угля комбайном; при ручной выемке угля; при погрузке угля	25-200	4-30	700	105
	200-700	30-105	1400	285
	10-500	2-75	2500	375
Проходчик: откаточный штрек вентиляционный штрек	10-110	2-16	700	105
	50-620	15-180	900	270

Дисперсный состав взвешенной угольной пыли в горных выработках угольных шахт Донбасса по обобщённым данным [16, 25] составляет в очистных забоях пологих (наклонных) пластов: при размере частиц до 5 мкм – 3-15%; 5-10 мкм – 9-13%; 10-30 мкм – 30-57%; более 30 мкм – 31-50%; в забоях подготовительных выработок: при размере частиц до 5 мкм – 3-10%; 5-10 мкм – 5-10%; 10-30 мкм – 23-33%; более 30 мкм – 50-68%.

При одинаковых условиях пылеобразования медианный диаметр взвешенной пыли увеличивается с повышением относительной общей пористости угля и содержания влаги. Концентрация пыли снижается в результате гравитационного оседания, процесса прилипания (адгезия) к различным поверхностям и слипания между собой (аутогезия). Аутогезия играет важную роль в процессах осаждения пыли – определяет эффективность способов пылеподавления.

Аутогезия характеризуется показателем $\cos \theta$ (θ – угол смачивания). Если $\cos \theta$ при смачивании водой меньше нуля, вещество называют гидрофобным, если больше нуля – гидрофильным. Угольная относится к веществам не полностью смачиваемых водой $90^\circ > \theta > 0^\circ$. В зависимости от марки

угля она изменяется для углей Донбасса в пределах от 60⁰ - 85⁰. Наиболее гидрофильным является уголь марки Д (длиннопламенный), затем в порядке ухудшения – А, ПА, Е, ОС, Ж, К. Пыль пород, вмещающих уголь, в большинстве случаев гидрофильная.

Количество пылевых частиц, перешедших во взвешенное состояние, отнесённое к единице массы добытого угля, называют удельным пылевыделением. Удельное пылевыделение возрастает пропорционально увеличению мощности пласта и уменьшается при увеличении влажности угля более 6%.

Отечественными исследователями разработана методика оценки углей по удельному пылевыделению из пласта $q_{\text{пн}}$ (г/т) [2, 26].

$$q_{\text{пн}} = 150 * k_w * k_n, \text{ г/т}, \quad (2.1)$$

где q – удельное пылевыделение, г/т;

a - содержание пыли в разрушенном угле, %;

k_w и k_n - коэффициенты, учитывающие содержание влаги в пласте и мощность пласта. Значения коэффициентов приведены в табл. 2.3 и 2.4 [2, 27].

Таблица 2.3 – Коэффициент влияния мощности пласта на пылеобразование

Мощность пласта	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
Значение коэффициента, k_n	0,4	0,5	0,75	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3

Практическое использование методики позволило определить удельное пылевыделение для всех шахтопластов Донбасса, по которым составлен каталог шахтопластов по пылевому фактору. Все пласты разделены на восемь групп пыльности. К первой (менее пыльной) группе относятся пласты с удельным пылевыделением до 50 г/т ко второй – 51-100 г/т, третьей – 101-150 г/т, четвёртой – 151-250 г/т, пятой – 251-400 г/т, шестой – 401-600 г/т, седьмой – 601-1000 г/т, восьмой (самой пыльной) – более 1000 г/т. По каталогу можно определить остаточную запылённость воздуха при эксплуатации, приведенных в каталоге шахтопластов для различных горнотехнических условий и способов обеспыливания.

Таблица 2.4 – Коэффициент влияния содержания влаги в пласте на пылеобразование

Содержание влаги, %	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
Значение коэффициента, k_w	1,1	1,0	0,9	0,7	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,10	2,3

Значительное влияние на концентрацию витающей пыли в вентиляционной струе воздуха оказывает скорость её движения у источника образования пыли. Критические значения скорости воздуха для отрыва угольных пылинок размером 21, 58 и 87 мкм составляют соответственно 10, 6,2 и 5 м/с [30]. Отечественными исследователями установлено значение оптимальной по пылевому фактору скорости движения воздуха, которая для очистных забоев составляет 1,2 – 2,0 м/с, а для подготовительных – 0,4 – 0,6 м/с [25]. В Великобритании принята скорость движения воздуха в очистных забоях не ниже 1,5 м/с и не выше 4,0 м/с [40].

Учёными ФРГ установлено, что концентрация тонкодисперсной пыли имеет минимум при скорости движения воздуха 2,0 – 3,0 м/с [9]. При дальнейшем увеличении скорости воздуха запылённость возрастает за счёт взвихривания пыли. При достаточно эффективном увлажнении угля повышения концентрации взвешенной в воздухе пыли можно избежать. При выполнении этого условия возможно увеличение скорости воздушной струи в выработках шахты до 5 м/с.

Запылённость воздуха в очистных выработках

Исследованиями запылённости воздуха в очистных выработках шахт, разрабатывающих пласты низкой степени метаморфизма, установлено наличие зависимости уровня запылённости воздуха от степени метаморфизма угля [16]. При выемке углей низкой степени метаморфизма средняя запылённость воздуха в очистных выработках находилась в пределах 170 - 410 мг/м³, при средней стадии метаморфизма – в пределах 300 - 600 мг/м³, при высокой стадии метаморфизма (антрациты) – 250 - 400 мг/м³. Метаморфизм

углей тесно связан с прочностью, содержанием влаги, определяющей различия в пылеобразовании. На уровень запылённости оказывает влияние скорость движения воздуха, сечение выработок вид крепи, производственная мощность шахты, участка, технология выемки, которая зависит от угла падения пласта. С увеличением добычи угля растёт уровень запылённости воздуха в выработках.

МакНИИ были обобщены данные о горнотехнических условиях, ситовом составе угля и запылённости выработок при выемке угля. В соответствии с отраслевыми нормативными документом [36] для всех очистных и подготовительных выработок, оборудованных механизированными комплексами и проходческими комбайнами, должны устанавливаться технически достижимые уровни остаточной запылённости воздуха (ТДУ), утверждённые МакНИИ. Величина ТДУ должна устанавливаться в момент выемки угля при использовании орошения, с учётом расчётных показателей удельного пылевыделения и ожидаемого уровня запылённости воздуха.

Запылённость воздуха в подготовительных выработках

Исследованиями МакНИИ установлено [16, 35], что между запылённостью воздуха в очистных выработках и примыкающим к ним подготовительных выработках имеется связь, выраженная прямолинейной зависимостью

$$C_{\text{подг}} = 0,32 C_{\text{оч}} + 34, \quad (2.2)$$

где $C_{\text{подг}}$, $C_{\text{оч}}$ – запылённость воздуха, соответственно, в подготовительных и очистных выработках, мг/м³.

Рассчитанные по эмпирической формуле (2.2) значения запылённости воздуха в подготовительных выработках приведены в табл.2.5.

Таблица 2.5 – Сравнительный расчёт запыленности воздуха

Запылённость воздуха в очистной выработке, мг/м ³	Запылённость воздуха в подготовительной выработке, мг/м ³		Критерий Пирсона
	фактическая	расчётная	
1	2	3	4
50	52	50	0,080
150	103	82	5,188

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4
250	131	114	2,535
350	153	146	0,336
450	150	178	4,404
550	216	210	0,171
650	229	242	0,698
750	236	271	4,520
850	286	306	1,228
1000	336	338	0,012
Сумма			19,072

Исследованиями, выполненными МакНИИ, установлено, что запылённость воздуха в подготовительных выработках угольных шахт Донбасса находится в пределах 50-350 мг/м³, что значительно превышает ПДК, регламентированную санитарными нормами (2-10 мг/м³).

Закон распределения вероятности показателей запылённости воздуха в горных выработках

Установлено [16], что распределение вероятности показателей запылённости воздуха может быть отнесено к логарифмически-нормальному закону распределения, плотность вероятностей которого имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\ln xi - \ln a}{2\sigma^2}\right], \quad (2.3)$$

где a и σ – параметры распределения;
 \bar{x} – исследуемый показатель;

$$a = x_{\text{mod}}; \quad (2.4)$$

где x_{mod} – модальное значение x , $x_{\text{mod}} = 150$;

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(\ln x - \ln a)^2}; \quad (2.5)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (2.6)$$

среднее значение исследуемого показателя

$$\bar{x} = a \cdot \exp\left(\frac{1}{2} \sigma^2\right). \quad (2.7)$$

Этот вывод согласовывается с [1, 15] о нормальном законе распределения показателей запылённости в выработках угольных шахтах.

Пылеотложения по сети горных выработок

Интенсивность пылеотложения [16, 48], характеризуется массой пыли, осевшей в единицу времени в единице объёма выработки P_t (г/м³сут.). Интенсивности пылеотложения по сети горных выработок приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6 – Интенсивность пылеотложения по сети горных выработок шахт Донбасса

Места интенсивного пылеотложения	Интенсивность, г/м ³ сут.
1	2
Околоствольные и основные откаточные выработки	0,04 - 0,4
Горизонтальные и наклонные откаточные выработки, расположенные за пределами зоны влияния погрузочных пунктов, опрокидывателей и сопряжений с бремсбергами и уклонами	0,2 – 3,2
Тупиковые подготовительные выработки, расположенные за пределами зоны призабойного пространства	1,3 – 8,0
Участки вентиляционных штреков и других выработок с исходящей струёй воздуха, расположенные на расстоянии от лав:	
более 200 м	0,3 - 6,5
менее 200 м	1,2 – 960
Погрузочные пункты у гезенков, скатов и лав на крутых пластах	4,0 – 68

Продолжение таблицы 2.6

1	2
Перегрузочные пункты у лав на пологих и наклонных пластах, а также стационарные погрузочные пункты	6,2 – 69
Участки откаточных выработок у опрокидывателей	1,0 – 25
Сопряжение уклонов и бремсбергов с участковыми откаточными и основными штреками	12 – 600
Призабойное пространства подготовительных выработок Конвейерные выработки, оборудованные скребковыми конвейерами ленточными конвейерами	1,3 – 8,0 1000 – 1500 4000 – 8000

Следует отметить, значительные колебания интенсивности пылеотложения вблизи мест пылеобразования. Наибольшее пылеотложение в вентиляционных штреках относится к участкам, примыкающим к лавам. Протяжённость этих участков составляет от 100 до 400 м. За каждый час при работе угледобывочной техники на вентиляционный штрек из очистного забоя поступает от 0,02 до 1,8 кг из каждой добытой тонны угля.

При транспортировке угля в вагонетках по горизонтальным и наклонным выработкам, пылеотложение составляет около 1,0 г. на 1 м³ объёма выработки в сутки.

Интенсивность пылеобразования на погрузочных пунктах в основном зависит от суточной производительности и скорости погрузки. Максимальное пылеотложение наблюдается непосредственно вблизи места погрузки (разгрузки) в районе опрокидывателей, пересыпов с конвейера на конвейер, с конвейера в буккер и т. д. Высокий уровень пылеотложения происходит в выработке с конвейерной доставкой угля (породы, горной массы), в призабойном пространстве подготовительных выработок, проводимых буровзрывным способом [1, 16].

Дисперсный состав, отложившейся в выработках угольной пыли, характеризуется значительным разнообразием: массовая доля фракции размером более 75 мкм с удалением от лавы уменьшается; доля других фракций практически постоянна. Такая же закономерность изменения дисперсного

состава пыли наблюдается на погрузочных пунктах лав пологих пластов. В остальных случаях определённой закономерности нет. С удалением от лавы средневзвешенный диаметр частиц пыли уменьшается (оседает более мелкая пыль). В других выработках средневзвешенные диаметры отложившейся пыли равны: 48-51 мкм – в откаточных штреках; 40-77 мкм – у погрузочных пунктов и опрокидывателей.

2.6. Вопросы для самоконтроля

1. Основные определения и численные характеристики рудничных аэрозольей
2. Аппаратные средства контроля запыленности пылевзрывобезопасности рудничной атмосферы
3. Пылевой фактор в угольных шахтах Донбасса
4. Оценка запыленности воздуха горных выработок
5. Запыленность воздуха в подготовительных выработках
6. Запыленность воздуха в очистных выработках
7. Закон распределения вероятности показателей запыленности воздуха в горных выработках
8. Пылеотложения по сети горных выработок

3. ПЫЛЕВОЙ ФАКТОР И ОПАСНОСТЬ ЗАБОЛЕВАНИЯ ШАХТЁРОВ ДОНБАССА ПНЕВМОКОНИОЗОМ

3.1. Гигиеническое значение физико-химических свойств пыли

Пыль, находящаяся в воздушной струе горных выработок оседает на поверхности кожного покрова работающих, попадает на слизистые оболочки полости рта, глаз, верхних дыхательных путей. Находясь в запыленной атмосфере, рабочий подвергается как внешнему, так и внутреннему воздействию пыли. Внешнее воздействие пыли не представляет серьезной опасности для работающих, так как с наружных поверхностей (кожного покрова, слизистых) она относительно легко смывается, а иногда просто стряхивается, и, следовательно, непосредственный контакт с ней прекращается по окончании рабочей смены или после выхода из запыленной атмосферы. Кроме того, кожный покров не пропускает большинства видов пыли и не подвергается сам их воздействию [2, 16]. Опасно вдыхание пыли, при кото-

ром значительное ее количество попадает в организм, и лишь некоторая часть выдыхается обратно. Создаются условия для длительного контакта относительно больших масс пыли со слизистой поверхностью дыхательных путей, наиболее восприимчивой к ее действию.

Степень опасности неблагоприятного действия пыли на организм определяется в основном концентрацией пыли в воздухе и ее дисперсностью, а также загрязненностью воздуха – запыленностью [11, 13].

Концентрация пыли – это весовое содержание взвешенной пыли в единице объема воздуха. Эту величину принято выражать в миллиграммах пыли на 1 кубический метр воздуха ($\text{мг}/\text{м}^3$). Концентрацию пыли иногда выражают также в количестве пылинок в единице объема воздуха, и в некоторых зарубежных странах эта величина принята за основной показатель запыленности. Однако учеными доказано, что первостепенное значение имеет не число пылинок, а их масса, поэтому был принят весовой метод гигиенической оценки запыленности воздуха как основной.

Чем выше концентрация пыли в воздухе, тем большее ее количество за тот же период оседает на кожный покров работающих, попадает на слизистые оболочки и, самое главное, проникает в организм через органы дыхания.

Дисперсность пыли выражается в процентном содержании отдельных фракций пыли по отношению ко всему количеству пылинок. Для гигиенической оценки дисперсности пыли условно принято делить ее на следующие фракции: менее 2 мк, 2 – 4 мк, 4 – 6 мк, 6 – 8 мк, 8 – 10 мк и более 10 мк. Иногда для исследовательских целей ее делят на более мелкие фракции с выделением пылинок менее 1 мк; в некоторых же случаях (обычно для грубой оценки) ее делят на меньшее число фракций с интервалом в 3 – 4 мк (менее 2 мк, 2 – 5 мк, 5 – 10 мк и более 10 мк) [20].

Размеры пылинок имеют большое гигиеническое значение, так как чем мельче пыль, тем глубже она проникает в дыхательную систему. Если относительно крупные пылинки при вдыхании в большей степени задерживаются в верхних дыхательных путях и постепенно удаляются оттуда со слизью, то мелкая пыль, как правило, проходит в легкие и оседает там на длительный срок, вызывая поражение легочной ткани. Кроме того, мелкая пыль при той же массе имеет большую поверхность соприкосновения с легочной тканью, поэтому она более активна. Высокодисперсная пыль представляет большую опасность, чем крупная (низкодисперсная), так как она дольше находится в воздухе во взвешенном состоянии.

В различных производствах встречается самая разнообразная пыль по своей дисперсности. Например, при дроблении твердых материалов в образующейся пыли преобладают фракции 5 – 10 мк и более, при тонком помоле образуется пыль с преимущественным содержанием пылинок от 2 до 5 мк; наиболее мелкой пылью являются дымы и аэрозоли конденсации, в которых большую часть составляют пылинки менее 1 – 2 мк.

Гигиеническое значение удельного веса пыли сводится в основном к скорости ее осаждения: чем выше удельный вес пыли, тем быстрее она оседает и тем быстрее происходит самоочищение воздуха.

Химический состав пыли определяет биологическое действие ее на организм. По химическому составу пыли делят на две основные группы: токсические и нетоксические. Первые при попадании в организм вызывают острое или хроническое отравление, вторые не вызывают отравления организма даже при больших концентрациях и при неограниченном сроке действия.

Биологическое действие токсической пыли находится в тесной связи с ее растворимостью. Хорошо растворимые пыли, попав в организм, растворяются в слизи и в других биологических средах (крови, лимфе) и в растворенном виде быстро и в большей степени всасываются и распространяются по всему организму, оказывая токсическое действие. Малорастворимые и тем более нерастворимые пыли при попадании в организм в основном при вдыхании, длительно остаются на месте их оседания в органах дыхания и оказывают в основном местное действие [13, 20].

Структура пыли, то есть форма пылинок, также имеет определенное гигиеническое значение, так как от этого зависит характер ее местного действия и в какой-то степени проникающая способность. Пылинки с острыми гранями, особенно игольчатой формы (кристаллическая пыль, пластинчатая и т. п.), оказывают большее раздражающее действие в месте соприкосновения (на слизистых оболочках глаз, верхних дыхательных путей, а иногда и на кожном покрове). Пылинки стекловолокна, например, могут проникать в поры кожного покрова, в поверхность слизистых оболочек, вызывая значительное их механическое раздражение. Аморфные и волокнистые пыли в меньшей степени вызывают местное раздражение. Волокнистые мягкие пыли (шерстяная, хлопковая, льняная и др.) в основном задерживаются в верхних дыхательных путях, не проникая в легкие.

Электроразряженность пыли способствует большему ее задержанию в организме, так как, осев на поверхности дыхательных путей, она в большей

степени с ними связывается и меньше выдыхается обратно, Кроме того, способность электроразряженной пыли удерживать на своей поверхности газовые частицы приводит к занесению последних в организм и их совместному (комбинированному) воздействию.

Различные виды пыли, обладая разными физико-химическими свойствами, оказывают неодинаковое действие на организм и, следовательно, представляют разную опасность для работающих. Однако все они оказывают определенное неблагоприятное действие на организм.

3.2. Влияние пыли на организм человека. Профессиональные заболевания

Пыль поступает в организм человека в основном при дыхании через нос или рот, и поэтому в первую очередь от вредного действия пыли страдает нос, затем глотка и гортань и, наконец, легкие. При здоровом состоянии носа дыхание происходит с закрытым ртом. Научкой доказано, что только носовое дыхание является правильным, так как, проходя через носовую полость, воздух не только согревается, но главным образом очищается от пыли. Носовая полость является очень мощным фильтром. Хорошей задержке пыли в носу способствует узость носовых ходов, их извилистость, а также влажное состояние слизистой. Пыльный воздух, проходя через слизистую оболочку носа, встречает на своем пути носовые раковины, которые также способствуют оседанию пыли [13, 20].

Благодаря всем этим защитным приспособлениям в полости носа задерживается от 30 до 50% всей пыли, содержащейся во вдыхаемом воздухе. Очень большое значение имеет концентрация пыли в воздухе, характер ее, состояние слизистой носа.

При дыхании чрез рот пыльный воздух не подвергается такой фильтрации пыль в значительном количестве проникает в глубокие дыхательные пути.

Однако длительное дыхание запыленным воздухом не проходит бесследно для носовой полости. Под влиянием раздражающего действия пыли кровеносные сосудики (капилляры) расширяются, слизистая оболочка становится красной, утолщенной, набухшей — развивается воспалительное заболевание слизистой носа «гипертрофический ринит». Внешне это проявля-

ется в насморке. При слишком большом набухании слизистой носовые ходы настолько суживаются, что это создает затруднение для прохождения воздуха. Тогда носовое дыхание становится невозможным, и человек начинает дышать ртом. Если причины, вызывающие это болезненное явление, не исчезают, т.е. рабочий продолжает работать в пыльном помещении, воспалительный процесс принимает затяжную, хроническую форму: слизистая становится бледной, тонкой и сухой, организм лишается носового фильтра. Пыль может оказывать на организм различное действие: фиброгенное, токсическое, раздражающее и т. д. Пыль занимает одно из первых мест среди причин профессиональной патологии легких, наиболее распространенными из которых являются пневмокониозы. Под этим названием подразумевают хронические заболевания легких в результате воздействия пыли, сопровождающиеся развитием фиброза легочной ткани. Среди пневмокониозов выделяют такие формы, как силикоз, силикатоз, металлоксиноз и др. Приводим их классификацию [13, 20].

3.3. Классификация пневмокониозов [24, 26, 28]

Силикоз.

Силикатоз (асбестоз, талькоз, каолиноз, цементный, слюдяной)
Металлоксиноз (бериллиоз, алюминоз, баритоз и др.)
Карбоксиноз (антракоз, графитоз, сажевый и др.)

Пневмокониозы от смешанной пыли:

- содержащей свободную двуокись кремния (антракосиликоз, сидеросиликоз и др.);

- не содержащей свободной двуокиси кремния или с незначительным содержанием ее (пневмокониоз шлифовальщиков, электросварщиков и др.)

Пневмокониозы от органической пыли (хлопковый, зерновой, пробковый и др.)

Силикоз является наиболее распространенным и тяжелым по течению пневмокониозом. Он развивается в результате вдыхания кварцевой пыли, содержащей свободную двуокись кремния. Эта форма болезни часто регистрировалась у рабочих горнорудной (бурильщики, забойщики и др.) и машиностроительной (пескоструйщики, дробеструйщики, обрубщики и др.) промышленности, в производстве огнеупорных материалов, размоле песка, обработке гранита.

Карбокониозы обусловлены воздействием разновидностей углеродсодержащей пыли (уголь, сажа, кокс, графит). При этих формах заболеваний преимущественно наблюдается интерстициальный и мелкоочаговый фиброз легких. Среди карбокониозов наиболее распространен антракоз, развивающийся в результате вдыхания угольной пыли. Тяжелый физический труд способствует быстрому возникновению и более тяжелому течению пневмокониоза.

Пневмокониозы, развившиеся вследствие вдыхания смешанных пылей с высоким содержанием кварца, по клиническому течению близки к силикозу, но отличаются меньшей склонностью к прогрессированию. Они регистрируются чаще всего у шахтеров угольных и железорудных шахт, в керамической и фарфорофаянсовой промышленности, в производстве шамота и других огнеупорных изделий. В зависимости от состава примесей различают антракосиликоз, сидеросиликоз, силикосиликатоз.

При низком содержании или отсутствии кварца в составе смешанной пыли пневмокониозы могут развиваться в результате комбинированного воздействия сажи, талька и других компонентов у рабочих резиновой промышленности. При вдыхании пыли растительных волокон и прежде всего хлопка развивается заболевание, называемое биссинозом, при котором наблюдаются бронхоспастические и астматические симптомы.

Патогенез пневмокониозов в результате воздействия пыли сложен и многие его вопросы окончательно не выяснены. Общим для всех форм пневмокониозов является развитие пылевого катарального бронхита и бронхоспазма. Бронхоспазм возникает вследствие усиленного выделения легочной тканью под воздействием пыли гистамина, который в свою очередь способствует спазму артерий, расширению вен, повышению проницаемости и разрастанию соединительнотканых элементов в межальвеолярных перегородках. При этом наблюдается ухудшение вентиляции, усиление гипоксии и гипоксемии, что в целом и усугубляет развитие фиброза.

Наряду с поражением органов дыхания при силикозе наблюдаются значительные изменения деятельности сердечнососудистой системы, секреторной функции желудочно-кишечного тракта с угнетением активности пищеварительных ферментов, нарушается обмен веществ. Одновременно наблюдаются изменения в ЦНС. Среди осложнений силикоза, кроме "легочного сердца", встречаются пневмонии, астмоидный бронхит, бронхиальная астма. Силикоз нередко осложняется туберкулезом, что приводит к смешанной форме заболевания — силикотуберкулезу.

Производственная пыль также может быть причиной заболеваний верхних дыхательных путей, бронхитов, а также некоторых поражений кожи (шелушение, фурункулез, дерматиты, экземы и др.) [2, 13, 20].

Система профилактики заболеваний от воздействия пыли носит комплексный характер и включает законодательные меры, технические, гигиенические и лечебно-профилактические мероприятия. Основным законодательным документом, регламентирующим меры по оздоровлению условий труда, является ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Данным документом установлены уровни ПДК пыли в воздухе рабочей зоны, т. е. таких, при которых не допускается возможность заболевания не только пневмокониозами, но и вообще пылевыми болезнями дыхательных путей. Величины ПДК пыли в воздухе рабочей зоны в зависимости от химического состава, биологической активности и других факторов колеблются от 1 до 10 мг/м³ [2, 3].

По крупности пыль делят на три класса. К первому классу относят пыль с размерами частиц более 10 мкм. Такие частицы сравнительно быстро оседают на почву и бока выработки и составляют основную массу осевшей пыли. Второй класс включает пыль с размерами частиц от 10 до 0,1 мкм. Эти частицы находятся продолжительное время во взвешенном состоянии и переносятся на большие расстояния вентиляционными потоками воздуха по горным выработкам. К третьему классу относят пыль с размерами частиц менее 0,1 мкм, которая практически не оседает из воздуха. Пыль второго и третьего классов, находящуюся в воздухе во взвешенном состоянии, называют витающей.

Количественное соотношение, фракций разной крупности в пыли называют ее дисперсным составом. Определение лабораторным путем количественного содержания различных частиц пыли входит в задачу дисперсного анализа, который осуществляют с помощью микроскопов или микропроекторных аппаратов с кратностью увеличения от сотен до нескольких тысяч раз.

3.4. Пылевая обстановка на объектах угольной промышленности и её влияние на заболеваемость шахтёров пневмокониозом

Предварительные замечания

Источником образования промышленной пыли в горной промышленности и при добыче и обогащении полезных ископаемых являются мелкие минеральные частицы, содержащиеся в полезных ископаемых, а также об-

разующихся при их дроблении и сухом измельчении [1-3, 16]. Её характеристики зависят от свойств перерабатываемого сырья, его влажности, герметичности защитных кожухов оборудования и наличия избыточного давления под этими кожухами. Особенно сильное пылеобразование происходит при дроблении и сухом измельчении (в частности при отбойке полезного ископаемого в забое), грохочении, пневматическом обогащении, сухой магнитной сепарации, электросепарации, транспортировке сухих продуктов по желобам и трубам, конвейерами, в пунктах перегрузки сухих продуктов, при работе сушильных аппаратов и т.д. Содержание пыли в воздухе характеризуется массой пыли в единице объема и выражается в мг/м³.

Пылевой фактор и патология органов дыхания работников горнодобывающих предприятий [1-3, 16].

Вредные вещества попадают в организм чаще всего через дыхательную систему. Основными факторами, влияющими на поступление пылевых частиц в организм и их задержку в органах дыхания, являются, концентрация пыли в ингалируемом воздухе и время ее воздействия, размеры частиц (дисперсность), их плотность (удельный вес), растворимость, объем дыхания в зависимости от тяжести труда, а также индивидуальная чувствительность организма

Механизм первичной задержки частиц в органах дыхания в основном определяется инерционным и гравитационным осаждением, а также диффузией. Задержка частиц в различных отделах органов дыхания в основном определяется их дисперсностью и аэродинамическим диаметром.

Промышленная пыль вызывает профессиональные заболевания, ухудшает санитарно-гигиенические условия труда, образует взрывоопасную и пожароопасную среду.

Госстандартами установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) пыли на рабочих местах [12, 23]:

- для магнезита - 10 мг / м³;
- известняка 6 мг / м³;
- асбеста, асбоцемента - 6 мг / м³;
- талька, слюды, мусковита - 4 мг / м³;
- цемента, оливина, апатита, фосфоритов - 6 мг / м³.

Влияние пыли на здоровье людей зависит от ее дисперсности, физико-химических свойств и характера воздействия на организм. Заболевания, вызываемые воздействием промышленных аэрозолей:

- силикоз (наиболее распространённый и тяжело протекающий вид пневмокониоза, профессиональное заболевание лёгких, обусловленное длительным вдыханием пыли, содержащей свободную двуокись кремния.), асбестоз (заболевание легких, вызванное вдыханием асбестовых волокон), талькоз (пневмокониоз, обусловленный вдыханием пыли, содержащей тальк);

- силикатоз, каолиноз (силикатоз, возникающий при длительном контакте с белой глиной), пневмокониоз (группа заболеваний лёгких, вызванных длительным вдыханием производственной пыли и характеризующихся развитием в них фиброзного процесса);

- карбокониоз (пневмокониозы, вызванные вдыханием углеродсодержащей пыли); сидероз (пневмокониоз, развивающийся в результате систематического вдыхания пыли железа или его соединений);

- баритоз (пневмокониоз, обусловленный воздействием пыли, содержащее барий и его соединения) и другие пневмокониозы.

Опасные вредные вещества и производственные факторы, воздействие которых может приводить к возникновению профессиональных заболеваний:

- вдыхание пыли, содержащей диоксид кремния в свободном и связанном состоянии, рудничной, рентгеноконтрастной, углеродсодержащей пыли (уголь, кокс, сажа, графит и др.);

- пыли металлов и их окислов, в т.ч. твердых и тяжелых сплавов, сварочный аэрозоль;

- пыли органических и искусственных минеральных волокон, пластмасс и в т.ч. обсемененность вдыхаемого аэрозоля микрофлорой и др.

Комплекс мер по предупреждению заболеваниями пылевыми бронхитами и пневмокониозами включает социально-правовые, лечебно-профилактические и организационно-технические мероприятия и средства по обеспыливанию и контролю запыленности шахтного воздуха [8, 13, 20, 24, 32, 33].

Из социально-правовых мероприятий определяющим является запрет на работу в подземных условиях женщин и подростков до 18 лет как наиболее подверженных заболеванию пневмокониозом. Для рабочих, занятых на подземных работах, введены дополнительные отпуска продолжительностью 24 рабочих дня, первоочередное направление в шахтные профилактории и на санаторно-курортное лечение. Обязательным является ежегодное рентгеновское обследование легких, а в случае выявленного заболевания перевод

работника на работы, не связанные с запыленностью. К этой группе мероприятий относится также нормирование ПДК угольно-породной пыли.

В профилактике заболеваниями пневмокониозом определяющим является учет пылевых нагрузок горнорабочих и горных мастеров в соответствии с требованиями Инструкции по замеру концентрации пыли в шахтах и учету пылевых нагрузок [29].

Пылевая нагрузка работника шахты рассчитывается по формуле [2, 16]

$$П = 0,001 * k * C * Q * t * N, \text{ г} \quad (3.1)$$

где k - коэффициент, учитывающий наличие противопылевого респиратора (при наличии респиратора $k = 0,1$, отсутствии - $k = 1$); C – средне-сменная запыленность воздуха, мг/м³; Q – среднесменный объем легочной вентиляции, м³/мин (определяется тяжестью выполняемой работы в зависимости от профессии работника); t – продолжительность рабочей смены, мин; N - число смен, отработанных в запыленной атмосфере.

Нормы суммарной предельно допустимой пылевой нагрузки (критической по пневмокониозу), при которой работник должен быть выведен из мест работы с запыленной атмосферой, определяются в зависимости от объема легочной вентиляции при выполнении работ (фактически от профессии или должности работника) и фиброзоопасности вдыхаемой угольно-породной пыли - содержание в ее составе свободного диоксида кремния.

Замеры среднесменной концентрации пыли на рабочих местах должны проводиться не реже одного раза в квартал в течение не менее 75% продолжительности смены при условии охвата всех производственных процессов в течение смены, перерывов в работе и выполнения норм выработки не менее чем на 80%.

Значение среднесменной концентрации пыли используется также для оценки условий труда по пылевому фактору путем сравнения полученных значений с предельно допустимыми концентрациями пыли [2].

Борьба с пылью на шахтах ведется в соответствии с Инструкцией по комплексному обеспыливанию воздуха [31].

Проектирование комплекса обеспыливающих мероприятий осуществляется уже на этапе разработки проектов строительства (реконструкции) шахт, вскрытия и подготовки выемочных участков горизонтов, блоков и панелей. Раздел по борьбе с пылью указанных проектов должен содержать:

-перечень мероприятий при всех процессах, сопровождающихся пылевыделением (при выемке угля, проведении горных выработок, закладочных работах, погрузке, транспортировании, разгрузке горной массы), очистку поступающих и исходящих вентиляционных потоков;

-параметры работы оборудования для борьбы с пылью и размещение его по сети горных выработок;

-спецификацию на оборудование и материалы;

-схему пожарно-оросительного трубопровода;

-оборудование и устройства для очистки воды для орошения;

-рекомендации по оптимальным (по пылевому фактору) режимам проветривания;

-перечень рабочих мест и производственных процессов, где должны применяться противопылевые респираторы.

В паспортах выемочных участков, проведения и крепления горных выработок должны быть приведены схемы и параметры противопылевых мероприятий, тип, количество и места расположения оборудования.

Мероприятия по борьбе с пылью на выемочных и подготовительных участках и закрепленных за ними выработок выполняются силами участков. Отдельные специализированные работы по пылеподавлению могут выполняться участком профилактических работ по технике безопасности (ПР по ТБ).

Общий контроль за выполнением противопылевых мероприятий и состоянием средств борьбы с пылью на шахте, а также организация контроля запыленности воздуха в подземных выработках возлагаются на участок ВТБ. Контроль разделяется на оперативный и периодический и включает контроль состояния оборудования для пылеподавления и контроль концентрации пыли в воздухе. Оперативный (ежесменный) контроль осуществляется должностными лицами участка, в чьем ведении находятся выработки, а также должностными лицами шахты и участка ВТБ при посещении выработок. Периодический контроль производится не реже одного раза в месяц начальником участка ВТБ или его помощником совместно с руководителем производственного участка (помощником начальника или механиком участка).

Общая организация работ по борьбе с пылью на шахте возлагается на главного инженера шахты.

Источники пылеобразования в горной промышленности

Чрезвычайно важно дать гигиеническую оценку пылевого фактора, как основного при добыче полезных ископаемых, и характеристику профессиональной патологии органов дыхания у работников горнодобывающих предприятий [4, 11, 13, 16, 17, 24-28]

Из технологических процессов добычи полезных ископаемых наиболее пылеобразующими являются работы по дроблению и измельчению горного массива (бурение, комбайновая, струговая выемка угля и др.). При скрепировании, погрузке, транспортировке процессы пылеобразования менее интенсивны, они вторичны, поскольку выделение пыли в воздух рабочих мест происходит из взорванной горной массы. Использование при этих технологических процессах воды – как средства борьбы с пылью, оптимальные её расходы в зависимости от производительности оборудования, приводят к существенному снижению концентраций пыли на рабочих местах [29, 31, 35].

На угольных шахтах при работе комбайнов, стругов, бурении скважин содержание пыли в воздухе колеблется в весьма широких пределах и значительно превышает значения установленных ПДК для угольной, породной пыли. Горнорабочие, занятые в очистных забоях (ГРОЗ), как правило, подвергаются действию угольной пыли с содержанием свободного диоксида кремния до 5%. При проходке же выработок (бурение, погрузка породы) на рабочих действует пыль вмещающих горных пород с более высоким содержанием кварца [1, 2, 4, 10, 16].

При выполнении подземных работ в рудных шахтах характеристики пыли несколько иные, поскольку буровые работы ведутся в горных породах, вмещающих полезные ископаемые, что и определяет высокое содержание свободного диоксида кремния.

На золотодобывающих рудниках, где разрабатываются золотоносные кварцевые жилы, содержание SiO_2 может составлять 50–60% и выше, а на полиметаллических рудниках – 20–45%. При выполнении горнопроходческих работ (бурение и погрузка взорванной горной массы) содержание пыли в воздухе рабочих мест проходчика колеблется от 1,2 до 15,6 мг/м³ и зависит от использования воды и эффективного местного проветривания забоев. В тоже время при забурировании, начальном бурении шпуров, скважин концентрации пыли могут возрастать до 20–40 мг/м³. При очистных, погрузочно-разгрузочных работах содержание пыли (2,3–13,7 мг/м³) определяется

эффективностью использования орошения горной массы и проветривания рабочих зон.

На высокомеханизированных рудниках, где используется самоходная техника с дизельным приводом, характер загрязнения атмосферы подземных выработок рудничным аэрозолем несколько иной. В воздухе рабочих мест присутствуют минеральные частицы, образующиеся при разрушении горного массива, и частицы сажи, как продукт выхлопа дизельных двигателей. При этом содержание последних колеблется от 6,3 до 13% от массы всех витающих частиц в воздухе. Рудничная атмосфера также загрязняется газообразными компонентами выхлопа (оксиды азота, углерода, акролеин, формальдегид, 3-4-бензапирен и др.) концентрации которых в 3–7 раз превышают значения ПДК на эти вещества.

Шахтная пыль образуется в основном при добыче и транспортировании полезного ископаемого, отбойке горных пород, погрузке и транспортировании горной массы, бурения шпуров и скважин и др. Вещественный состав пыли в основном зависит от минерального состава угольного пласта, вмещающих пород и породных прослоек. Содержание пыли по массе или числу частиц в единице объема воздуха называют концентрацией и выражают в граммах или миллиграммах на 1 м^3 аэрозоля. Ориентировочный уровень запыленности шахтного воздуха в горных выработках при различных производственных процессах характеризуется данными табл. 3.1.

Запыленность атмосферы шахт зависит от удельного пылевыведения, которое определяется после разрушения угля по суммарному содержанию частиц размером менее 70 мкм, способных временно или постоянно находиться во взвешенном состоянии. Способность пылинок оставаться взвешенными в воздухе продолжительное время зависит от тонкости пыли, удельного ее веса и формы пылинок, а также от влажности, температуры и скорости движения воздуха.

По действию на организм человека различают токсичную и неядовитую пыль. Действие пыли на организм человека зависит от ее химического состава и дисперсности. Заболевания, вызываемые неядовитыми пылями, называют в зависимости от вида вдыхаемой пыли. При запылении легких пылью, содержащей свободный диоксид кремния (SiO_2), заболевание легких называют силикозом, угольной – антракозом. На рис. 3.1 показаны здоровое лёгкое и лёгкое поражённое силикозом.

Таблица 3.1 – Уровень запыленности шахтного воздуха в горных выработках при различных производственных процессах

Производственные процессы	Запыленность шахтного воздуха, г/м ³
1	2
Взрывные работы в тупиковом забое	0,5—20
Работа угольного комбайна, врубовой машины, качающегося конвейера, перегрузка угля с конвейера в вагонетки	0,5—30
Работа отбойными молотками по углю	0,5—15
Сухое бурение шпуров по породе	0,1—10
Погрузка машинами сухой горной породы	0,1—5
Погрузка сухой породы в вагонетку вручную	0,06-0,34
Перегрузка угля с конвейеров на конвейер при высоте падения угля 0,4 м	0,11—0,17

Таблица 3.2 – Продолжительности осаждения в спокойном воздухе частиц пыли, находящихся на расстоянии 1 м от почвы

Наименование показателей	Значение показателей			
	2	3	4	5
Диаметр частиц, мкм	100	105	10,5	0,2
Продолжительность осаждения пыли, мин.	1,3	2,2 - 9	180 – 660 (3-11 ч)	2760 (46ч)

Особенно активно действуют на легкие человека частицы пыли размером 0,25 – 10 мкм. Санитарными нормами установлены предельно допустимые концентрации пыли по массе (мг/м³) в воздухе горных выработок и производственных помещений.

Нормируются предельно допустимые концентрации (ПДК) угольно-породной пыли в зависимости от содержания свободного диоксида кремния SO² (табл. 3.3).

Для отбора проб воздуха при определении его запыленности весовым методом применяется аспиратор АЭРА. Отбираемая проба воздуха, фиксируемого количества, просасывается через стеклянную пылевую трубку-алонж, заполненную гигроскопичной ватой с последующим взвешиванием трубки для определения массы пыли. По массе пыли и количеству просасываемого воздуха производится расчет его запыленности.

Таблица 3.3 – Предельно допустимые концентрации пыли угольных шахт

Качественная характеристика пыли	характеристика	Содержание свободного диоксида кремния в пыли	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³ (по общей массе)
1		2	3
Породная, углепородная		От 10 до 70	2
Углепородная, угольная		От 5 до 10	2
Антрацитовая		До 5	6
Пыль каменных углей		До 5	10

Для каменного угля с содержанием свободного диоксида кремния от 2 до 10 % предельно допустимая концентрация пыли составляет 4 мг/м³, от 10 до 70 % - 2 мг/м³.

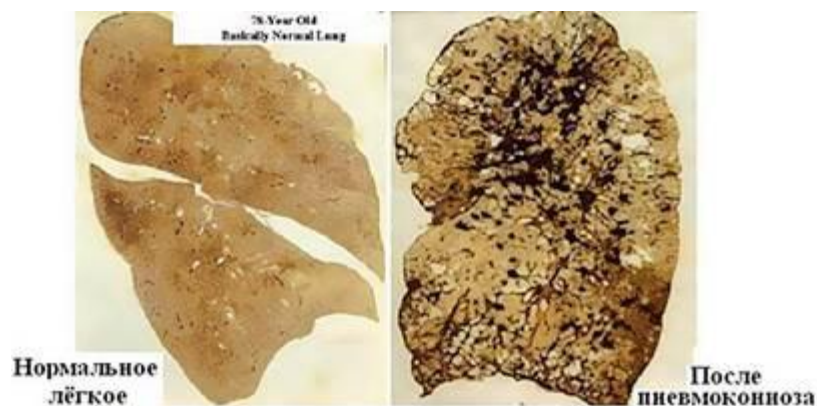


Рисунок 3.1 – Здоровое лёгкое (слева) и лёгкое поражённое силикозом (справа)

Основную опасность для производства по подземной добыче угля предприятия представляет витающая в воздухе выработок и отложившаяся угольная пыль, способная переходить из аэрозольного состояния в аэрогельное (отложившееся) и обратно [1, 2, 4, 10, 16]. Масса или объемы пыли определяются объемами мелких, наиболее опасных фракций угля (0–1 мм),

которые образуются в процессе разрушения и транспортировки горной массы.

При рассмотрении пылевой проблемы, возникающей в связи с добычей и переработкой полезных ископаемых (в десятках миллиардов тонн в год) выделение пылевых фракций исчисляется сотнями миллионов тонн [1-3, 13, 24]. В мировой угольной промышленности при полном цикле (добыча – обогащение – транспортировка по сети железных дорог – перегрузка в транспортных балкерных терминалах – погрузка/выгрузка на суда – промышленное использование) уголь всех фракций претерпевает многочисленные процедуры пересыпания, дробления, грохочения. В результате этого имеет место устойчивая тенденция к снижению объема крупных фракций и увеличения содержания фракции менее 1 мм примерно с 7% в очистном забое до 18% на поверхностном складе шахты и до 22% в питателе на обогатительной фабрике. Доля фракций более 25 мм уменьшается в семь раз в процессе транспортировки угля по шахте, доля пылевых фракций возрастает в 3,2 раза. В пересчете на годовую производительность современной шахты выход пылевых фракций в товарном угле составляет 0,5–1,5 млн. т/год. Значительная часть пыли переходит во взвешенное состояние, оседает в выработках и производственных помещениях предприятий по транспортировке и переработке угля. В ходе транспортировки угля за пределами шахт рост доли пылевых фракций в угле возрастает. Угольная пыль (фракции угля 0–1 мм) составляет 19,5–22,4% от общего объема угля, перерабатываемого на складах, терминалах и в портах [1, 2, 24]. Пылевой фактор, аэрозоли с углепородной дисперсной фазой представляют серьезную опасность для здоровья персонала (фактор пневмокониозоопасности), а для предприятий по добыче и переработке угля угольная пыль представляет опасность вследствие возможности взрыва (фактор пылевзрывоопасности). В связи с этим, наряду со средствами пылеулавливания и пылеподавления необходимо применение систем регламентированного контроля за процессами распространения и осаждения угольных аэрозолей в шахтах, обогатительных фабриках, угольных терминалах, перегрузках и т. п.

Для горнодобывающих отраслей наиболее характерны аэрозоли, образованные вследствие витания в рудничной атмосфере мелких частиц диспергируемой (т.е. разрушаемой) горной массы: угля, руды или вмещающих пород, — дисперсионные аэрозоли с твердой фазой. Наиболее распространенной характеристикой рудничных аэрозолей по содержанию в них твер-

дых (угольных, породных) частиц является запыленность рудничной атмосферы.

Запыленность измеряется массовой концентрацией ($\text{мг}/\text{м}^3$), при этом по размерам частиц различают следующие контролируемые параметры: концентрация витающей пыли C_v – массовое содержание части размером от 1 до 74–100 мкм в единице объема воздуха (общая масса), $\text{мг}/\text{м}^3$ [6]; концентрация респирабельной (тонкой) фракции пыли C_p – массовое содержание частиц с диаметром от 0,1 до 5–7 (10) мкм; концентрация торакальной фракции пыли – частиц от 0,1 до 20–35 мкм; концентрация грубой фракции пыли – разница между C_v и C_p .

Кроме указанных на практике проводятся измерения концентрации пыли, связанные с определенными этапами технологического процесса и отличающиеся длительностью замера [29, 35]:

- среднесменная концентрация (ССК) пыли — концентрация вдыхаемой пыли в воздухе, определяемая по результатам непрерывного или дискретного отбора проб в зоне дыхания работающих или в рабочей зоне за промежутки времени, составляющий не менее 75% продолжительности смены при основных и вспомогательных операциях, а также при перерывах в работе с учетом их длительности в течение смены;

- максимальная разовая концентрация (МРК) пыли — концентрация вдыхаемой пыли в воздухе, определяемая по результатам непрерывного или дискретного отбора проб в зоне дыхания работающих или в рабочей зоне за промежутки времени, равный 30 мин, при развитии технологического процесса, сопровождающегося максимальным выделением пыли.

С физиологической точки зрения основной нормой является предельно допустимая концентрация (ПДК) пыли в воздухе рабочей зоны – по это концентрация вдыхаемой пыли ($\text{мг}/\text{м}^3$), которая при нормируемой продолжительности рабочего дня (но не более 41 ч в неделю) в течение всего трудового стажа работающего не может вызвать у него заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых в процессе работы или в отдаленные сроки жизни.

Наглядное представление измерения среднесменной концентрации пыли. Измерительные приборы должны иметь конструктивные особенности и аксессуары (зажимы, специальный чехол с ремнями для фиксации в кармане куртки либо на груди, позволяющие выполнить требования ОСТ 153-12.0-004-01 «Рудничная атмосфера. Методы контроля запыленности» по времени измерений ССК, по размещению прибора относительно зоны дыхания кон-

кретного работника ПДК пыли в соответствии с гигиеническими нормативами ГН 2.2.5.686-98 «Предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны» приведены в табл. 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – ПДК аэрозолей фиброгенного действия в воздухе рабочей зоны

Вид аэрозоля фиброгенного действия	ПДК, мг/м ³
Кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли более 70%(кварц, кристобалит, тридимит)	1
Кремний диоксид кристаллический при содержании пыли от 2 до 10%(гранит, шамот, слюда-сырец, углеродная пыль и др.)	2
Кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли от 2 до 10%(горючие кукерсиновые сланцы, медносульфидные руды и др.)	4
Углеродные пыли: антрацит с содержанием свободного диоксида кремния до 5%; другие ископаемые угли и углеродные пыли с содержанием диоксида кремния до 5%	6 10

В соответствии с Дополнением № 1 к ГН 2.2.5.686-98 предельно допустимые концентрации вредных веществ, относящихся к аэрозолям фиброгенного действия в воздухе рабочей зоны, являются среднесменными (ССК). Если на рабочих местах концентрация пыли постоянно превышает ПДК, то для данных рабочих мест определяют класс условий труда [17, 18] и степень вредности при профессиональном контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного действия (АПФД). В условиях повышенной запыленности воздуха применяются специальные устройства обеспыливания, которые (например, аспирационные системы, имеющие в своем составе вентилятор) содержат дополнительный мощный источник шума. При этом возникает необходимость оптимизации условий труда одновременно по факторам пыли и шума [38].

Таблица 3.5 – Классы условий труда в зависимости от кратности превышения ПДК пыли и ПДУ шума

Вид негативного воздействия	Класс условий труда по превышению ПДК (число раз), ПДУ					
	Допустимый уровень	Вредный уровень				Опасн. уровень
		2	3.1	3.2	3.3	
1	2	3	4	5	6	7
Выс.фиброг.и умер. Фиброг. АПФД*	ПДК	1,1– 2,0	2,1– 4,0	4,1– 10	> 10	-
Слабофиброгенные АПФД **	ПДК	1,1– 3,0	3,1– 6,0	6,1– 10	> 10	-
Шум ***	ПДУ	До 90 дБА	До 100 дБА	До 110 дБА	До 115 дБА	> 115 дБА

*ПДК = 2 мг/м³ ; **ПДК > 2 мг/м³ ; *** Пред. допуск. уровень ПДУ = 80 дБА.

Исходя из данных табл. 3.5 условия труда при наиболее неблагоприятном содержании в воздухе угольной пыли с превышением ПДК более чем в 10 (для угольной пыли — более 100 мг/м³) относятся к классу 3.4, а при эквивалентном уровне звука более 115 дБА [17, 18] рабочее место относится к классу 4 и подлежит реконструкции либо ликвидации. Это необходимо учитывать на стадии проектирования аспирационных систем борьбы с пылью. Кроме требований по величине предельно допустимых концентраций пыли в СанПиН 2.2.3.570-96 отмечается интермиттирующее воздействие пыли при пиковых концентрациях, превышающих средние в пять и более раз. В этом случае скорость выведения пыли из легких уменьшается, поэтому величина пиковых концентраций и их продолжительность должны контролироваться системами мониторинга рудничной атмосферы, а обеспыливающие мероприятия должны исключать наличие повышенных пиковых концентраций. В российских шахтах уровни запыленности воздуха, как правило, значительно (в 3–35 раз) превышают установленные гигиеническими нормами предельно допустимые концентрации витающей пыли.

При невозможности имеющимися техническими средствами обеспечить ПДК Отраслевым стандартом [27] предусмотрено установление технически достижимого уровня остаточной запыленности воздуха (ТДУ). ТДУ – уровень, до которого можно снизить запыленность воздуха на рабочих местах при выполнении всех применимых в данных условиях технических средств и осуществлении организационных мероприятий, направленных на борьбу с пылью.

Величина ТДУ используется для оценки эффективности систем пылеподавления в очистных, подготовительных или транспортных выработках. Степень физиологической опасности пыли в большинстве случаев определяется по содержанию в ней свободного диоксида кремния SiO_2 . Действующими в ДНР нормативами [3, 8, 17, 27, 31, 35, 39-42] регламентированы значения предельно допустимых концентраций пыли в зависимости от содержания в ней SiO_2 от 1 до 10 мг/м³.

Международными стандартами [43- 45] в зависимости от размера пылевых частиц рассматриваются пять основных фракций пыли:

- вдыхаемая фракция: часть всех взвешенных веществ, вдыхаемая через рот и нос (подлежит контролю в ДНР);
- экстрагаторакальная фракция: часть вдыхаемых частиц, которая не проникает через гортань;
- торакальная фракция: доля вдыхаемых частиц, которые проникают через гортань;
- трахеобронхиальная фракция: доля вдыхаемых частиц, которая проникает через гортань, но не достигает дыхательных путей с мерцательным эпителием;
- альвеолярная фракция: доля вдыхаемых частиц, которая проникает в дыхательные пути с мерцательным эпителием.

Профессиональные пылевые заболевания горняков

На основании ретроспективных материалов по характеристике условий труда на горнодобывающих предприятиях можно заключить, что с учётом сочетанного действия производственных факторов при подземных работах наиболее неблагоприятные условия труда у проходчиков, бурильщиков и горнорабочих очистных забоев (ГРОЗ). Уровень профессионального риска в части возникновения профзаболеваний «пылевой этиологии» у рабочих этих профессий является наиболее высоким. Учитывая способность пылей

вызывать профессиональные заболевания «пылевой этиологии» (пневмокониозы и пылевые бронхиты) – за ними закрепилось название «аэрозоли преимущественно фиброгенного типа действия (АПФД)» [1, 16].

Любая пыль неорганической природы и некоторые виды органической пыли при большой запылённости среды и продолжительном вдыхании их могут привести к заболеваниям органов дыхания. Однако имеются значительные отличия заболеваний в зависимости от вида вдыхаемой пыли. Несомненным остаётся факт, что из всех пылей, обладающих фиброгенным действием, наиболее опасной является пыль диоксида кремния, процентное содержание которого в той или иной смешанной пыли является одним из важнейших факторов, определяющих степень агрессивности пыли по отношению к организму (к высоко, умеренно фиброгенным пылям относятся пыли с содержанием свободного диоксида кремния более 10% и к слабофиброгенным – менее 10%) [13,20].

Способность пыли вызывать развитие фиброза лёгочной ткани в значительной степени определяется физико-химическими свойствами вдыхаемой пыли. Большое значение, в частности, имеет дисперсность пыли. Частицы диаметром более 10µ быстро выпадают из аэрозоля с нарастающей скоростью и поэтому – менее опасны для организма, так как либо совсем не содержатся в струе вдыхаемого воздуха, либо выпадают из неё прежде, чем воздух достигнет альвеол. Частицы же, осевшие на слизистой оболочке верхних дыхательных путей, удаляются при чиханье, сморкании, кашле; значительная часть пыли, попавшая в бронхи, выделяется из дыхательных путей с помощью мерцательного эпителия. Частицы размером от 10 до 0,1 µ оседают в спокойном воздухе медленно и с постоянной скоростью. Ультрамикроскопические частицы аналогично поведению газовых молекул находятся в непрерывном броуновском движении и практически вообще не оседают. Доказано, что наиболее опасна для организма мелкодисперсная пыль с диаметром пылевых частиц от 2 до 5 µ. Такие пылевые частицы дольше находятся во взвешенном состоянии во вдыхаемом воздухе и проникают в более глубокие отделы дыхательных путей. Следовательно, от степени дисперсности в значительной мере зависит характер вызываемых пылью изменений в лёгких [24, 28].

Агрессивность пыли определяется не только её дисперсностью, но и общей концентрацией пыли на рабочих местах. Для нормирования и контроля содержания в воздухе рабочей зоны пыли в России используются гравиметрические показатели – по массе вещества, содержащегося в 1 м³ возду-

ха. Многочисленными работами отечественных гигиенистов в области биологического действия пыли, разработки нормативов промышленных аэрозолей признана не только большей информативности масса пыли как необходимого показателя нормирования по сравнению с числом частиц, но и её биологической значимости. Поэтому контроль соблюдения ПДК осуществляется именно по всей массе пыли, а не по числу частиц и не по какой-либо условной доле массы содержащегося в воздухе вещества, как в случае распространённого за рубежом контроля по так называемой респираторной фракции.. Это важно учитывать и знать при попытках сравнения отечественных данных пылевого контроля с зарубежными данными.

Так как для развития профессиональной патологии требуется длительный период накопления АПФД в лёгких [1, 16, 28], нормирование пыли осуществляется по среднесменным концентрациям (ССК), а для осуществления оперативного контроля наиболее распространённых АПФД существуют максимальноразовые концентрации (МРК). В последние десятилетия в санитарно-гигиенические документы введено представление о значимости пылевой нагрузки на органы дыхания, как суммарных экспозиционных доз пыли за весь период профессионального контакта, выраженный в годах. Предложены контрольные уровни пылевой нагрузки, соблюдение которых обеспечивает профилактику заболеваний пылевой этиологии [16].

В зависимости от преимущественного характера действия промышленного аэрозоля и ответной реакции организма выделено три основные группы пневмокониозов, каждая из которых характеризуется сходством патогенеза, патоморфологическими, функциональными, цитологическими, иммунологическими и клиническими особенностями проявлений всех составляющих группу различных видов. Пневмокониоз от воздействия высоко- и умеренно фиброгенной пыли (силикоз, антракосиликоз, силикосидероз, силикосиликоз и др.) склонен к прогрессированию фиброзного процесса и осложнению туберкулёзной инфекцией.

Пневмокониозы, развивающиеся от воздействия слабофиброгенной пыли (асбестоз, талькоз, каолиноз, оливиноз, нефелиноз, карбокониоз/антракоз, графитоз и др., сидероз, баритоз, станиоз, марганцокониоз и др.), характеризуются умеренно выраженным пневмофиброзом, доброкачественным и медленно прогрессирующим течением.

Пневмокониозы от действия аэрозолей токсико-аллергического действия (бериллиоз, алюминоз, гиперчувствительные пневмокониозы: от пыли редкоземельных сплавов, металлов-сенсibilизаторов в сочетании (или без)

с токсичными газами, дымами и др.; пыли пластмасс, полимерных смол; органической пыли и др.)

К наиболее распространённым и тяжело протекающим видам пневмокониоза относится силикоз [16, 24]. Заболевание развивается в результате вдыхания пыли с высоким содержанием свободного диоксида кремния. Силикоз наиболее часто встречается у рабочих горнорудной промышленности, у каменотёсов. Клиническая картина силикоза у рабочих различных отраслей промышленности отличается рядом особенностей – относительно короткими сроками развития силикоза у подземных рабочих золотодобывающих рудников.

Существует узелковая и интерстициальная форма развития силикотического процесса в лёгких. Наряду с присущим силикозу многолетним течением описаны случаи быстро развивающегося или, как его называют, «острого силикоза» с коротким периодом пылевой экспозиции – 2–3 года и даже 6 месяцев. У горнорабочих диагностируются случаи так называемого позднего силикоза, развивающегося спустя несколько лет после прекращения контакта с пылью. Предполагают, что развитие позднего силикоза обусловлено наличием «депо» кварцевой пыли в лёгких.

К заболеваниям лёгких пылевой этиологии относятся также профессиональные пылевые бронхиты. Ведущую роль в их развитии имеет воздействие вредных условий труда, степень их повреждающего влияния с учётом состава и концентрации промышленных аэрозолей, исходного состояния организма до начала работы, стажа работы в неблагоприятных условиях. Определяющее влияние на более раннее развитие и неблагоприятное течение заболевания оказывает сочетанное воздействие пыли и других вредных факторов – токсичных газов, паров, перепадов температур, значительных физических нагрузок. У горнорабочих профессиональный пылевой бронхит развивается от воздействия пыли, не оказывающей токсического, раздражающего или аллергизирующего действия, а также профессиональный бронхит от воздействия промышленных аэрозолей, содержащих пыль, токсические и/или аллергизирующие соединения (токсико-пылевой бронхит). Последний вид патологии органов дыхания регистрируется у горнорабочих, обслуживающих самоходные машины с дизельным приводом. Они подвергаются воздействию сложной пылегазовой смеси рудничной пыли и компонентов выхлопа. Важно отметить, что проявления жалоб и развитие бронхолёгочного процесса наступало через 5–8 лет от начала работы в этих условиях. Лёгочная патология у этих горнорабочих имеет хроническое течение,

сопровождается формированием бронхо-пневмосклеротических изменений, прогрессированием пневмофиброза. Таким образом, изменения характера условий труда, свойств рудничного аэрозоля в шахтах, использующих самоходную дизельную технику, определяют характер профессиональной и сопутствующей патологии у горнорабочих.

Условия труда и, в первую очередь, выраженность пылевого фактора определяют высокие показатели профессиональной заболеваемости (ПЗ) у работников горнодобывающих предприятий [16, 28]. Основными профессиями работников, у которых были зарегистрированы заболевания пылевой этиологии, являлись: проходчик, ГРОЗ, слесари, электрослесари. В структуре заболеваний от воздействия промышленных аэрозолей первое место занимал хронический пылевой бронхит – 24,17%; второе – пневмокониоз (силикоз) – 18,53%. На угольных шахтах высокие концентрации пыли на рабочих местах определяют не только самый высокий уровень заболеваемости пылевыми болезнями лёгких, но её структуру. Формы регистрируемых пневмокониозов зависят не только от степени запылённости воздуха на рабочих местах, но и от характера разрабатываемого угля, в частности от его крепости и зольности, процентного содержания диоксида кремния в угле и породе, а также от стажа работы в шахтах, характера выполнения работ (по углю или породе). Преобладающим видом пневмокониозов у шахтёров является антрокосиликоз.

Он регистрируется у рабочих со стажем подземной работы 20–30 лет. Большой процент в профессиональной патологии шахтёров составляют хронические пылевые бронхиты, в развитии которых, помимо высокой запылённости воздуха, имеют другие факторы (неблагоприятный микроклимат, загрязнение рудничной атмосферы раздражающими газами, частые простудные заболевания и др.).

Среди рабочих рудных шахт пылевые заболевания органов дыхания также являются основными формами профессиональной патологии. Более высокое содержание свободного диоксида кремния в разрабатываемых горных породах определяет более короткий срок до развития пылевых заболеваний 15–25 лет, но имеются случаи и более раннего появления заболеваний.

Высокие уровни профессиональной заболеваемости среди рабочих горнодобывающих предприятий в последнее десятилетие объясняются не только отягощёнными условиями труда, но и снижением работ по внедрению противопылевых средств, поддержанию нормализованных режимов их

работы. На многих шахтах резко снизилась обеспеченность работающих средствами индивидуальной защиты органов дыхания, спецодеждой, лечебно-профилактическим питанием. Закрылись многие медсанчасти, профилактории, на базе которых осуществлялись лечебно-профилактические и оздоровительные мероприятия (послесменная реабилитация, диспансеризация и др.) [16, 24, 28].

Для профилактики пылевых заболеваний органов дыхания разработан комплекс технологических, инженерно-технических, лечебно-профилактических и социальных мероприятий.

Следует особо подчеркнуть, что профилактика заболеваний будет успешной только при внедрении и перманентном выполнении всего комплекса мер. Игнорирование одного из этих направлений, даже при тщательном выполнении двух других, сведёт на нет предпринятые усилия и не даст должного эффекта, вне зависимости от уровня вложенных средств.

В большом арсенале средств (общих и индивидуальных мер защиты), направленных на профилактику заболеваний пылевой этиологии у рабочих горнодобывающих предприятий [46- 49, 85], основное место занимают технические и санитарно-гигиенические мероприятия по максимальному снижению запылённости воздуха рабочих зон. Для снижения запылённости воздуха необходимо применение комплекса противопылевых мероприятий на всех этапах добычи полезного ископаемого.

При перфораторном бурении эффективен способ борьбы с пылью, заключающийся в применении промывки шпуров водой, а при бурении скважин – диспергированным водным раствором. Эффективность пылеподавления при бурении с промывкой возрастает при применении смачивателей или смачивающих добавок. Бурение шпуров и скважин с промывкой в сочетании с оптимальным проветриванием надёжно обеспечивает снижение содержания пыли в рудничном воздухе до допустимых концентраций. При низкой отрицательной температуре воздуха и горных пород, недостатке воды рекомендуется применение систем сухого пылеулавливания.

При выполнении погрузочно-разгрузочных и транспортных операций эффективным средством борьбы с пылью также является орошение с увлажнением всех источников пылеобразования с помощью стационарных и переносных оросителей различных конструкций. Устойчивое снижение пыли в действующих забоях достигается сочетанием орошения с оптимальным проветриванием выработок. Для предупреждения интенсивного пылеобразования в карьерах, автодороги следует покрывать бетонными или железобетонными плитами.

бетонными плитами, увлажнять регулярно водой или солевыми растворами, хлористым кальцием, водно-асфальтовой эмульсией, сульфатом магния и другими реагентами. Кабины горных машин и механизмов, а также транспортных средств должны быть надёжно защищены от проникновения пыли и иметь вентиляционные устройства, оборудованные воздухоочистительными установками.

Огромное значение для снижения заболеваемости пневмокониозом, хроническим пылевым бронхитом имеют профилактические медицинские осмотры рабочих горнодобывающих предприятий [46-50]. Цель профилактических осмотров – выявление начальных признаков пылевого воздействия, возможно раннего прекращения дальнейшего контакта заболевшего с пылью, рационального трудоустройства. При проведении предварительных медицинских осмотров для работы в контакте с пылевым фактором важно не допустить к работе лиц, имеющих противопоказания. Организация медицинских осмотров, сроки их проведения для работников, имеющих контакт с пылью с различными физико-химическими характеристиками, периодичность, набор специалистов, участвующих в медицинском осмотре, объём клинико-лабораторных обследований определяются приказами Министерства здравоохранения. В комплексе лечебно-профилактических мероприятий важными являются диспансерное наблюдение за рабочими разных профессиональных групп с начальными проявлениями патологии, лечение в специализированных клиниках, а также проведение общеукрепляющих процедур в санаториях – профилакториях.

Результаты исследования заболеваемости шахтёров Донбасса пневмокониозами

Экспериментальными исследованиями установлено, что в пыли извлечённой из лёгких горнорабочих угольных шахт Донбасса, фракции размером до 1 мкм составляют 18-20%, 1-3 мкм – 71-74%, более 3 мкм – 6-8%, с преобладающим содержанием пылинок размером 5 мкм. Полученные результаты подтверждают ведущее значение мелких фракций для развития пневмокониоза (силикоза, антракоза) [2, 16]. Установлено также, что фракционный состав пыли в лёгких горнорабочих, контактирующих с различными видами пыли (антрацитовой, битуминозной, породной), не имеет существенных различий.

Проведенные исследования показали, что угли низкой и высокой стадии метаморфизма разрушаются путём распада внутримолекулярных свя-

зей, в связи с чем образующаяся пыль имеет высокую химическую активность и поэтому оказывает повышенное патогенное воздействие на организм человека в сравнении с менее активной пылью углей средней степени метаморфизма.

Установлено, что между заболеваемостью горнорабочих пневмокониозом и содержанием в угле летучих веществ, в разрушенном угле пыли размером менее 70 мкм, влажностью угля имеет место регрессионная связь, уравнение которой имеет вид

$$n = -0.2 (V^{\Gamma} + a) + 0.18 W + 9.57, \quad R = 0.79. \quad (3.2)$$

где n – теоретический уровень заболеваемости (количество вновь выявленных больных на 1000 осмотренных);

V^{Γ} – содержание летучих веществ, %;

$(V^{\Gamma} + a)$ – интегральный показатель среднего содержания пыли в разрушенном угле, где $a = f(V^{\Gamma})$, $a = -0.51 V^{\Gamma} + 3.5$;

W – содержание влаги в угольном пласте, %;

R – коэффициент множественной корреляции.

Оценки парных регрессионных связей следующие:

а) уровень заболеваемости – содержание летучих

$$n = \frac{37,95}{V^{\Gamma}} + 0.46, \quad \eta = 0.92, \quad (3.3)$$

где η - корреляционное отношение;

б) уровень заболеваемости - содержание в разрушенном угле фракций пыли размером менее 70 мкм

$$n = 0,894 a^2 - 0,28, \quad \eta = 0.785, \quad (3.4)$$

в) уровень заболеваемости - содержание в разрушенном угле фракций пыли размером менее 10 мкм

$$n = 5,984 a^3 - 0,71, \quad \eta = 0.83, \quad (3.5)$$

г) уровень заболеваемости - содержание влаги в угле, (%)

$$n = \frac{2,293}{W-3,35} + 0.882, \quad \eta = 0.893. \quad (3.6)$$

Влажность угля свыше 8-10 % не оказывает существенного влияния на уровень заболеваемости.

Пневмокониозы широко распространены в странах с развитой угольной промышленностью ФРГ, Англия, США [1] и в нашей стране [16]. Заболеваемость пневмокониозами в Донбассе на шахтах с пологими и наклонными пластами угля (с выходом летучих веществ более 8%) составляла 0,9 (на 1000 обследованных) , а на шахтах с крутым залеганием пластов и при добыче антрацитов, составляла соответственно 2,85 и 6,0.

В большинстве случаев пневмокониоз выявлялся у рабочих в возрасте более 40 лет при стаже работы в пылевой атмосфере 10 - 20 лет.

Мероприятия по снижению пылеобразования и профилактике пылевой этиологии в горной промышленности

Борьба с пылью на производстве и профилактика заболеваний, развивающихся от воздействия аэрозолей, осуществляется комплексом санитарно-гигиенических, технологических, организационных и медико-биологических мероприятий [1, 16, 24, 27, 29].

Основой проведения мероприятий по борьбе с пылью является гигиеническое нормирование содержания аэрозолей в воздухе рабочей зоны. Так например, для аэрозолей, способных вызвать выраженный пневмокониоз, ПДК не превышает 1-2 мг/м³; для аэрозолей, оказывающих фиброгенное действие средней выраженности,- 4-6 мг/м³ , для аэрозолей с незначительной фиброгенностью – 8-10 мг/м³. Уровень допустимого содержания пыли с выраженным токсическим действием для большинства веществ значительно меньше 1 мг/м³ . В настоящее время установлены ПДК бодем чем для 100 видов пыли, оказывающих фиброгенное действие. В борьбе с образованием и распространением пыли наиболее эффективны технологические мероприятия.

К ним относятся [2, 13, 24, 28]:

- дистанционное управление;
- герметизация и изоляция внедрение непрерывной технологи производства, при которой отсутствуют ручные операции;
- автоматизация и механизация процессов, сопровождающихся выделением пыли;
- рационализация технологического процесса, обработка пылящих материалов во влажном состоянии, например, внедрение мокрого бурения в горнорудной и угольной промышленности (бурение с промывкой канала водой);
- пылящего оборудования, работа такого оборудования под вакуумом;

- устройство местных вентиляционных отсосов, вытяжной или приточно-вытяжной вентиляции.

Удаление пыли происходит непосредственно от мест пылеобразования. Перед выбросом в атмосферу запыленный воздух очищается с помощью пылеуловителей различной конструкции.

Для горных рабочих установлены сокращенный рабочий день, дополнительный от пуск, выход на пенсию по возрасту в 50 лет. Используется защита временем при работе в условиях повышенной запыленности. В соответствии с российским трудовым законодательством на работы в подземных условиях не допускаются лица моложе 20 лет, так как пневмокониозы в молодом возрасте развиваются раньше и протекают тяжелее. Обязательным является проведение предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров. Противопоказаниями к приему на работу, связанную с воздействием пыли, являются все формы туберкулеза, хронические заболевания органов дыхания, сердечнососудистой системы, глаз, кожи.

Средства индивидуальной защиты – респираторы, специальные шлемы и скафандры с подачей в них чистого воздуха применяются в тех случаях, когда не удастся снизить запыленность воздуха в рабочей зоне до допустимых пределов более радикальными технологическими мероприятиями. К индивидуальным средствам защиты от пыли относятся также защитные очки, специальная противопылевая одежда, защитные пасты и мази [4, 20, 85].

Медико-биологические мероприятия направлены на повышение сопротивляемости организма человека и ускорение выведения из него пыли. Сопротивляемость развитию пылевого поражения повышается при ультрафиолетовом облучении в фотариях, применении щелочных ингаляций и специального питания.

Выбор обеспыливающих мероприятий

В соответствии с [2, 29, 35] выбор отдельных обеспыливающих мероприятий или их комплекса для различных производственных процессов производится в зависимости от величины удельного пылевыделения. Значение удельного пылевыделения рассчитывается по формуле [2]

$$q = 240aK_1K_2 K_3 K_4 ,г / т,$$

где q – количество пыли, выделяющееся с 1 т добытого угля, г/т

a – содержание пыли в разрушенном угле, %

K_1 – коэффициент влияния влажности на удельное пылевыведение;
 K_2 – коэффициент влияния мощности пласта на удельное пылевыведение;

K_3 – коэффициент влияния скорости движения воздуха на удельное пылевыведение;

K_4 – коэффициент влияния производственного процесса на удельное пылевыведение.

Содержание пыли в разрушенном угле определяется по каталогу шахтопластов по пылевому фактору или расчетным путем по формуле

$$a = 100 [1 - \exp(-0.06 \frac{1}{m^2} 0.07^m)], \%$$

где m - показатель разрушаемости угля определяется по данным рассева угля пласта в соответствии с ГОСТ 16093 - 70.

Значения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 и K_4 определяются соответственно по таблицам 3.6, 3.7, 3.8 и 3.9.

Таблица 3.6 – Значение коэффициента влияния влажности горной массы на удельное пылевыведение (K_1)

Влажность горной массы, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Значение коэффициента K_1	1,2	1,0	0,78	0,71	0,64	0,60	0,55	0,45	0,42	0,3	0,3

Таблица 3.7 – Значение коэффициента влияния мощности пласта на удельное пылевыведение (K_2)

Мощность пласта, м	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,0	3,5
Значение коэффициента K_2	0,52	0,58	0,82	0,94	1,05	1,17	1,35	1,47	1,57	1,62	1,68

Значение коэффициента K_3 для погрузочного пункта очистной выработки и последующих мест перегрузки угля, а также при перегрузке горной

массы из подготовительной выработки определяется с учетом увеличения внешней влажности угля или горной массы в результате предшествующих процессов пылеподавления: увлажнения угля в массиве, орошения при выемке, отбойке и др.

Таблица 3.8 – Значение коэффициента влияния скорости движения воздушной струи на удельное пылевыделение

Скорость движения воздушной струи м\с	Значение коэффициента K_3	
	Очистные работы	Подготовительные работы
0,25	-	1,25
0,50	1,50	1,00
1,00	1,00	1,50
1,50	0,90	2,00
2,00	1,00	2,50
2,50	1,75	3,00
3,00	2,20	3,50
3,50	3,00	4,00
4,00	4,00	-
5,00	6,20	2,00

При ведении очистных работ с подрывкой боковых пород или проведением выработок смешанным забоем значение коэффициента K_4 принимается как средневзвешенное объемов разрушаемого (перемещаемого) угля V_u и V_p и соответствующих коэффициентов K_{4u} и K_{4p} (табл. 3.9).

В зависимости от величины удельного пылевыделения все производственные процессы разделяются на восемь категорий по пылевому фактору (табл. 3.10).

Обеспыливающие мероприятия для различных производственных процессах определяются в зависимости от категории их по пылевому фактору. Например, в очистных забоях пластов пологого и наклонного падения при выемке угля комбайном и производственных процессах I-й категории по пылевому фактору достаточно ограничиться только оросительной системой комбайна.

Таблица 3.9 – Значение коэффициента влияния производственного процесса на удельное пылевыведение

Производственный процесс	Условия залегания пласта	Значение коэффициента K_4	
		Для угля (K_y)	Для породы (K_p)
1	2	3	4
Выемка угля (породных прослойков) комбайнами	Пологое, наклонное	1,00	1,50
	Крутонаклонное, крутое	0,95	1,42
Выемка стругами (агрегатами)	Пологое, наклонное	1,00	1,50
	Крутонаклонное, крутое	2,15	3,20
Выемка угля (породы) отбойными молотками	То же	2,00	3,00
Выемка стругами (агрегатами)	Пологое, наклонное	1,00	1,50
	Крутонаклонное, крутое	2,15	3,20
Выемка угля (породы) отбойными молотками	То же	2,00	3,00
Выемка ниши	Пологое, наклонное, крутонаклонное, крутое	0,40	0,60
Проведение подготовительных выработок комбайном	То же	0,33	0,50
Проведение подготовительных выработок буровзрывным способом	-	0,60	0,90
Проведение подготовительных выработок вслед за лавой на вентиляционном горизонте	-	0,48	0,70
Бурение шпуров Ручными сверлами Колонковыми сверлами	-	0,10	0,15
		0,95	1,42
Бурение скважин	-	0,35	0,52
Погрузка угля (породных прослойков) под лавой	Пологое, наклонное	0,5	0,75
	Крутонаклонное, крутое	1,0	1,50

Продолжение таблицы 3.9

1	2	3	4
Перегрузка горной массы конвейерами	Пологое, наклонное, Крутонаклонное, крутое	0,27	0,40
Выгрузка горной массы опрокидами	То же	0,11	0,16
Выемка ниши	Пологое, наклонное, крутонаклонное, крутое	0,40	0,60
Проведение подготовительных выработок комбайном	То же	0,33	0,50
Проведение подготовительных выработок буровзрывным способом	-	0,60	0,90
Проведение подготовительных выработок вслед за лавой на вентиляционном горизонте	-	0,48	0,70
Бурение шпуров Ручными сверлами	-	0,10	0,15
Колонковыми сверлами		0,95	1,42
Бурение скважин	-	0,35	0,52
Погрузка угля (породных прослойков) под лавой	Пологое, наклонное Крутонаклонное, крутое	0,5 1,0	0,75 1,50
Перегрузка горной массы конвейерами	Пологое, наклонное, Крутонаклонное, крутое	0,27	0,40
Выгрузка горной массы опрокидами	То же	0,11	0,16

В случае VII-VIII-й категории пыльности применяется практически весь комплекс обеспыливающих мероприятий: предварительное увлажнение угля в массиве, оросительную систему комбайна (в отдельных случаях комбайны дополнительно оснащаются пылеотсосом), орошение угля при выемке и погрузке его из ниши, орошение угля на погрузочном пункте ла-

вы, очистка исходящей вентиляционной струи, организацию работ, исключаящую нахождение людей в запыленной зоне и др.

Таблица 3.10 – Значения удельного пылевыведения для производственных процессов различных категорий по пылевому фактору

Категория производственного процесса по пылевому фактору	Значения удельного пылевыведения, г/т
I	до 50
II	50-100
III	100-150
IV	150-250
V	250-400
VI	400-600
VII	600-1000
VIII	Более 1000

3.5. Вопросы для самоконтроля

1. Гигиеническое значение физико-химических свойств пыли.
2. Влияние пыли на организм человека. Профзаболевания.
3. Источники образования пыли.
4. Выбор обеспыливающих мероприятий

4. ВЗРЫВООПАСНОСТЬ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

4.1. Общие положения

Основное условие успешной борьбы со взрывами угольной пыли является применение эффективных мер по снижению пылеобразования и запылённости воздуха в процессах добычи полезных ископаемых [1, 2, 50]. На каждой опасной по пыли шахте разрабатывается и осуществляется проект комплексного обеспыливания, в котором предусмотрены:

- мероприятия по борьбе с пылью при всех процессах, сопровождающихся пылеобразованием;
- водоснабжение шахты и разводка водопроводной сети по горным выработкам; расположение средств пылеподавления в горных выработках; обеспыливающее проветривание забоев шахты; оборудование и материалы для борьбы с пылью;
- мероприятия по борьбе с запылённостью воздуха, поступающего в шахту с поверхности.

Организуется противопоылевая служба. Эти работы выполняются в режимах, регламентированных правилами безопасности. Мероприятия по борьбе с отложением и накоплением взрывчатой пыли: смачивание и уборка отложившейся пыли около мест её образования, периодического очистка от пыли горных выработок, обмыв и побелка капитальных выработок, применение предохранительных взрывчатых веществ и специальные оборудования при взрывании и др.

Мероприятия по борьбе с воспламенением пыли:

- нейтрализация и связывание осевшей пыли, а также соблюдение мер против воспламенения метана и других взрывчатых газов, мер безопасности при ведении взрывных работ и мер предупреждения воспламенения пыли при пользовании электроэнергией.

Мероприятия по предупреждению распространения взрывов пыли:

- заслоны из инертной пыли (сланцевые заслоны), водяные заслоны;
- распыление воды взрывом;
- водяные завесы;
- осланцевание выработок;
- связывание пыли пастами и гигроскопическими солями;
- гашение вспышек газа автоматическими системами;
- соляное обеспыливание.

Порядок контроля пылевзрывобезопасности и организация работ по пылевзрывозащите выработок осуществляются в соответствии с правилами безопасности.

4.2. Горючие и взрывчатые свойства угольной пыли

Взвешенная в воздухе рудничная пыль (аэрозоль) состоит из мелких горючих и энергично окисляющихся с выделением тепла частиц. При определенных концентрациях и температурах он может воспламеняться и взрываться, вследствие большой поверхности соприкосновения тонко диспергированной пыли с кислородом и активного его поглощения. Кроме того, пыль, содержащая углеводороды, в случае нагревания выделяет горючие газы. Облако пыли, нагретое в одной точке до определенной температуры, быстро воспламеняется во всем объеме ее нахождения. Это горение может превратиться во взрыв [2, 10].

Установлено, что:

- пыль может взрываться при полном отсутствии метана;
- пыль может превратить взрыв небольшого количества метана во взрыв большой силы;

- присутствие в воздухе тонкой и сухой угольной пыли снижает нижний предел взрывчатости смеси метана с воздухом; смесь становится взрывчатой при содержании метана меньше 5%;
- при участии угольной пыли во взрыве продукты его всегда содержат большое количество окиси углерода, которая может явиться причиной гибели людей.

Процесс горения аэрозолей несколько отличен от процесса горения газовых смесей, но между ними есть и много общего. Температура воспламенения угольной пыли составляет $700\div 800^{\circ}\text{C}$, а метановоздушной смеси – $650\div 750^{\circ}\text{C}$.

Взрыв угольной пыли имеет ряд особенностей:

- взрыв пылевого облака обуславливается степенью дисперсности пыли, ее способностью к агрегации, содержанием влаги, геометрией пространства, мощностью источника воспламенения;
- химический состав пыли обуславливает выход летучих продуктов, которые принимают участие во взрыве;
- взрыву предшествует накопление тепла в результате реакции окисления и образование газообразных продуктов;
- облако угольной пыли способно самовозгораться электричеством вследствие трения пылинок друг о друга, а при благоприятных условиях – разряжаться с появлением искр, которые могут воспламенить пыль;
- при взрыве пыли всегда образуется много окиси углерода, в то время как при взрыве метана образуется преимущественно углекислый газ.

4.3. Факторы, оказывающие влияние на взрывчатость угольной пыли [1, 2]

Химический состав пыли. Одним из основных факторов, характеризующих склонность пыли к взрыву, является выход летучих веществ при термическом разложении угля без доступа воздуха.

Главными компонентами в составе летучих веществ, обуславливающими взрывчатость пыли, являются смолистые соединения и тяжелые углеводороды. Основными горючими составляющими летучих веществ являются метан, водород, окись углерода, углекислый газ, этан, тяжелые углеводороды и др.

Нижний предел взрывчатости смеси газообразных продуктов термического разложения угля практически постоянен и равен 4,2%.

Взрывчатость обуславливается одновременным влиянием всех горючих компонентов.

Степень взрывчатости пыли может характеризоваться давлением в месте взрыва. Увеличение выхода горючих веществ (V^{daf}) обуславливает возрастание давления взрыва. Угольная пыль подразделяется на слабовзрывчатую ($V^{\text{daf}} < 15\%$) и сильно взрывчатую ($V^{\text{daf}} > 15\%$).

Дисперсность пыли. Дисперсный состав пыли является существенным фактором, определяющим ее взрывчатость [1, 16]. При больших размерах частиц пыли наблюдается почти линейный рост силы взрыва с увеличением дисперсности или удельной поверхности пыли.

Однако, это возрастание, начиная с частиц диаметром 100 мк, продолжается значительно медленнее. Сила взрыва в отдельных случаях достигает максимума при диаметре частиц около 10 мк.

Взрывчатость угольной пыли растет с увеличением степени ее измельчения, и поэтому в шахте по мере удаления от источника пылеобразования она становится потенциально более взрывоопасной.

Состав атмосферы. Существенное значение имеет состав среды, в которой происходит взрыв. Если в шахтной атмосфере содержится метан, взрыв возможен при более низких концентрациях пыли.

Установлено, что нижний предел взрываемости сильно взрывчатой пыли равен $17 \div 18 \text{ г/м}^3$, а в присутствии 2,5% метана он понижается до $5 \div 6 \text{ г/м}^3$. Верхний предел взрывчатости, по данным МакНИИ, составляет $300 \div 400 \text{ г/м}^3$.

Влажность угольной пыли. Фактор влажности играет существенную роль при оценке взрывчатости пыли. Влага действует как инертная добавка. Так как теплоемкость воды больше теплоемкости инертной пыли, то с учетом теплоты испарения вода поглощает тепла в 5 раз больше, чем инертная пыль. Взвешенная в шахтном воздухе пыль с любым содержанием влаги при наличии мощного источника воспламенения может взорваться.

Основным фактором в защитном действии влаги от взрыва является связывание осевшей пыли на почве и боковых поверхностях горных выработок.

Зольность пыли. Наличие золы снижает взрывчатость угольной пыли, поскольку часть образующегося тепла расходуется на нагрев частичек инертной пыли, что приводит к снижению температуры аэрозоля.

4.4. Особенности взрывов угольной пыли в шахтах [2, 10]

Взрыв угольной пыли имеет ряд особенностей. В зависимости от скорости распространения фронта пламени и движения газообразных продуктов различают

- воспламенение – спокойное сгорание пыли; оно происходит в случаях недостаточного содержания кислорода в пылевоздушной смеси;
- вспышка с давлением до 2 атмосфер и скоростью горения от 4 до 10 м/сек;
- взрыв со скоростью горения более 100 м/сек;
- детонация со скоростью распространения фронта пламени более 1000 м/сек.

В шахте нет условий для протекания взрывов угольной пыли типа детонации. Взрывчатая пылевоздушная среда в выработках шахт образуется постепенно, по мере развития взрыва. Поэтому взрыв угольной пыли в шахте относят к типу дефлягации (выгорания). При воспламенении угольной пыли и распространении горения по выработке впереди пламени со скоростью звука распространяется волна сжатия, давление позади этой волны превышает начальное и воздух движется со скоростью 30 м/сек. Ударная волна поднимает находящуюся на стенках выработки пыль и создает на всем протяжении выработки между пламенем и волной сжатия взрывчатую пылевоздушную среду, в которой и распространяется пламя.

Распространение взрыва замедляется при наличии препятствий, мешающих движению воздуха в выработке - изгибов, тупиков, уменьшения сечения выработки. Увеличение сечения выработок увеличивает интенсивность взрыва.

Взрыв угольной пыли в шахте можно рассматривать как итог последовательно происходящих явлений:

- приведение пыли во взвешенное состояние;
- появление источника тепла;
- воспламенение пыли и передача тепла от слоя горячей пыли следующим слоям.

Образование взрывчатой пылевоздушной среды зависит от давления при начальном взрыве, так как под действием этого давления резко увеличивается скорость движения воздуха, что, в свою очередь, сопровождается более интенсивным взвихриванием пыли. Основными факторами, от которых зависит воспламенение и горение угольной пыли при взрыве, являются температура среды и наличие кислорода в ней. Обычно при взрыве сгорают только тонкие фракции пыли, горение более крупных частиц после

израсходования кислорода переходит в тление. Температура горения зависит от теплоты сгорания пыли и теплоемкости аэрозоля.

4.5. Аварийность на угольных шахтах, обусловленная пылевым фактором

Минимальный порог взрываемости угольной пыли находится в пределах 10-60 г/м³. С нарастанием концентрации пыли до уровня 300-400 г/м³ мощность взрыва увеличивается. Максимальный предел взрывчатости угольной пыли составляет 2000-3000 г/м³ [51, 52]. Тепловая теория воспламенения Н.Н. Семенова объясняет взрыв угольной пыли следующим образом. Под воздействием теплового источника воспламенения частицы пыли быстро прогреваются с выделением горючих газообразных продуктов пиролиза, образующих вокруг частицы газовую оболочку. Как только концентрация горючего газа в этой оболочке достигает пределов воспламенения, возникает горение. Тепло, выделяющееся от горящей частицы, переносится в виде излучения на горящим частицам, которые при нагреве также выделяют горючие газы и воспламеняются. Так, горение взвешенной пыли приобретает лавинообразный характер.

При взрыве угольной пыли реакция горения протекает не только в газовой фазе, но и на поверхности угольных частиц. Образующиеся при пиролизе угля жидкие продукты обволакивают поверхность частицы пленкой, насыщенной пузырьками газа, образующегося при термическом разложении угля. При выгорании выделившихся летучих компонентов вырастает температура, обеспечивая воспламенение и последующее интенсивное горение. Одним из факторов, от которых зависит взрывчатость угольной пыли, является выход летучих веществ. Выход летучих веществ определяется как отношение массы летучих веществ, выделившихся при нагревании горючего при температуре 850 ± 10 °С, к единице массы топлива и пересчитанный на сухое беззольное его состояние. Для торфа выход летучих веществ составляет около 70 %, горючих сланцев 70-85 %, бурых углей в пределах 33-60 %, каменных углей 8-50 %, антрацитов 2-9 %.

При нагревании 1 кг угольной пыли выделяется 200-300 л горючих газов. Основными горючими составляющими выделяющихся из угля летучих веществ являются метан, водород, оксид углерода, этан и другие углеводороды. Нижний концентрационный предел воспламенения продуктов термического разложения угля практически постоянен и равен 4,2 %. После воспламенения угольной пыли от очага самовозгорания, возникшего в ранее

осевшей угольной пыли, начинается распространение фронта пламени по взвешенной угольной пыли. Горение пыли сопровождается повышением температуры и давления газодисперсной системы. В дальнейшем происходит выброс продуктов горения и образование волны сжатия в рабочей зоне. Движущаяся волна сжатия поднимает ранее отложившуюся пыль. Происходит взрыв угольной пыли. Взрыв пыли является примером химического взрыва, когда основополагающим фактором (окислителем) является кислород воздуха. При этом процесс окисления протекает на поверхности твердых частиц пыли.

Интенсивность горения пылевоздушной смеси (ПЛВС) зависит от размера частиц и содержания кислорода в веществе. Если концентрация пыли в определенном объеме недостаточна (то есть расстояние между отдельными частицами, находящимися во взвешенном состоянии, велико), то перенос пламени от частицы к частице невозможен и, значит, взрыв не произойдет. Чрезмерно большое количество пыли также препятствует формированию взрывов, так как в этом случае слишком мало кислорода для сгорания пыли.

Промышленная безопасность предприятий угольной промышленности по пылевому фактору характеризуется показателями числа случаев травматизма, ежегодного числа аварий, связанных со взрывами пылеметановоздушной смеси. Доля смертельного травматизма в шахтах составляет 76–89% от общего количества случаев, на открытых работах – 10–19%, на поверхности угольных шахт и обогатительных фабрик – 1–6% [53].

Интегральной характеристикой состояния охраны в угольной промышленности является коэффициент смертельного травматизма на млн. тонн добычи угля $N_{\text{отн}}$ (отношение числа смертельно травмированных работников $n_{\text{см}}$ к объему добычи $A_{\text{млн т/год}}$, $N_{\text{отн}} = n_{\text{см}} / A_{\text{млн т/год}}$).

О неудовлетворительном состоянии охраны труда в угольной промышленности свидетельствует сравнение этого показателя с аналогичными показателями угледобывающих стран мира: в Австралии - 0,00, США - 0,01, Германии - 0,03, ЮАР - 0,16, Польше - 0,25, России - 0,33, Индии - 0,56, Украине - 2,14, Китае - 3,94. Показатель по Украине [1, 2], в основном формируется на шахтах Донецкого бассейна. Он на порядок и более отличается от аналогичных показателей ведущих угледобывающих стран мира. Взрывы, вспышки газа и пыли за 13 лет с 2001 по 2013 гг унесли жизни 331 горняков из 2409 по всем видам аварий (13,74%).

На настоящем этапе развития на угледобывающих предприятиях осуществляется внедрение современной техники и высокопроизводитель-

ных технологий. Это приводит к общему повышению культуры производства и уровня защиты от технологических опасностей.

Добыча угля во всех странах мира сопровождалась авариями и катастрофами, в результате которых пострадали миллионы горнорабочих. Перечень только наиболее крупных аварий и катастроф, происшедших в XX веке на зарубежных шахтах, связанных со взрывами газа и угольной пыли представлено в табл. 1.2 [54, 55].

В мире ежегодно травмируется до 200 тыс. шахтеров, в том числе 6-10 тыс. чел. со смертельным исходом. Наибольшее число травм происходит на шахтах Китайской народной республики (КНР), где ежедневно в результате несчастных случаев на угольных шахтах гибнет более 10 шахтеров, а в 1995 год число погибших в этой стране превысило 10 тыс. 400 горняков. Только за минувшее десятилетие в КНР произошло 27 мощных взрывов газа и пыли, в результате которых погибло 1908 человек [54]. Уже в 2002 г. на шахте “Ляонин” при взрыве газа и пыли погибло 119 чел.

Взрывы (вспышки) метана и угольной пыли относятся к основным видам аварий в угольных шахтах наряду с пожарами и обрушениями пород и угля. **Причиной аварий, в подавляющем большинстве случаев, является нарушение требований технологической безопасности и технологической дисциплины.** В табл. 4.1 приведены наиболее крупные аварии, происшедшие на зарубежных угольных шахтах, связанные со взрывами газа метана с участием угольной пыли в 1900-2000 гг.

Таблица 4.1 – Крупные аварии, происшедшие на зарубежных угольных шахтах, связанные со взрывами газа метана с участием угольной пыли в 1900-2000 гг.

Год	Страна	Наименование шахты (фирмы, компании, города, штата, бассейна)	Вид аварии	Число смертельно пострадавших, человек
1	2	3	4	5
1900	США	Унтер Кортерс-Софилд	Взрыв	200
1902	США	Фретервилль, штат Тенесси		201

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
1906	Франция	шахта Кюрьер		1230
1906	Япония	шахта в г.Нагассаки		250
1907	США	Дермайн, г.Питсбург		250
1907	США	Иоленд, г.Питсбург		500
1907	США	Дарр Джекобс Крук"		239
1907	США	шахты компании Фермонт		400
1907	Япония	Тогоока, провинц. Бунго		471
1900	Германия	Радбод, Вестфалия		335
1908	США	Мариани, г.Питсбург		300
1908	США	ш. Общества св.Павла, Черри		260
1909	США	Черри	Пожар	267
1910	Мексика	Паоло		200
1910	Англия	ш. №3, Халтон		344
1911	США	ш. в Никевилле, штат Теннесси		202
1911	США	Претория	Пожар	341
1912	Япония	Юбари, остров Иессо	Взрыв	283
1913	Англия	Сенгенгенидд	"-	439
1913	Англия	Юниверсал, Кардифф	"-	427
1913	США	Каусон, Нью-Мексико	"-	325
1914	Колумбия	Хильрест, Кельгорн	"-	206
1942	Япония	Хонкейко, Маньчжурия	"-	1527
1946	Германия	Гимберг	"-	404
1958	Индия	Анансоль	"-	218
1962	Германия	Луизенталь	"-	299
1963	Япония	Микава	"-	457
1965	Индия	Бохори	"-	375
1965	Югославия	Добрня	"-	375
1965	Япония	Яmano	"-	331

Продолжение таблицы 4.1.

1	2	3	4	5
1969	Мексика	Барратерано	-"	300
1969	США	Консол №9, Консоли- дейшн Коул	-"	78
1972	Родезия	Ванки	-"	400
1975	Польша	Силезия	-"	34
1975	Индия	Часнала	-"	431
1975	Индия	Дханабад штат Бихар	-"	272

За последние 30 лет даже на относительно малоаварийных польских шахтах произошло 15 взрывов метановоздушной смеси, при этом пострадало 426 человек, в т.ч. 219 – смертельно. В этот период имели место 17 катастрофических взрывов газа и пыли на шахтах Российской Федерации, Югославии (4), Японии (5), ЮАР (3), а также в ФРГ, Турции, Перу, Тайване, Мозамбике и др. [54].

Вместе с тем, в ведущих угледобывающих странах число аварий и катастроф с групповым травматизмом и количество единичных смертельных несчастных случаев за последние годы значительно снизилось. Об этом свидетельствуют материалы Международной организации труда (МОТ), иностранных литературных источников и отдельных специалистов [50, 55]. Наибольшее число смертельно пострадавших в целом и на 1 млн. тонн добычи угля (K_{cm}) среди ведущих угледобывающих стран приходится на Китай и Украину [50].

Анализ состояния аварийности и травматизма на зарубежных шахтах свидетельствует о том, что низкий уровень данных происшествий в основном сформировался по следующим факторам и причинам:

- прекращение разработки тонких и пластов, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа;
- полная комплексная механизация очистных и подготовительных работ с разработкой пластов средней мощности (более 1,5 м);
- высокое качество выемочной и проходческой техники и транспортных средств;
- широкое внедрение анкерной крепи с датчиками опасности;
- наличие комплексных систем противоаварийной защиты шахт, участков, технологических линий и рабочих мест;

- сокращение на порядок численности персонала за счет комплексной механизации и автоматизации;
- принятие и применение горного законодательства, где в большинстве статей определены санкции к нарушителям;
- эффективное трудовое законодательство, когда наниматель имеет право увольнения работника без согласования с профсоюзным органом за исключением массового сокращения персонала;
- низкая текучесть кадров руководителей и рабочих, связанная с наличием льгот длительно работающим;
- обучение и проверка знаний работников на новейшей учебной базе и с помощью компьютерных технологий;
- материальное стимулирование положительных результатов работы по охране труда за отсутствие аварийности и травматизма.

Применение высокопроизводительных и безопасных механизированных комплексов с встроенными в комбайны метаномерами и системами пылеподавления повысили способность предотвращения вспышек и взрывы метана и угольной пыли в процессе их эксплуатации.

Автоматизированные системы противоаварийной защиты шахт, участков, технологических линий и рабочих мест предопределили низкую аварийность за счет постоянного контроля ОВПФ, предаварийных и травмоопасных ситуаций. В большой степени способствует предотвращению аварий и травматизма от обвалов и обрушений применяемое повсеместно анкерное крепление подготовительных выработок и особенно их сопряжений с очистными забоями.

Небольшая численность персонала на зарубежных шахтах (400-500 чел.), что на порядок ниже украинских шахт, способствует потенциально низкому травматизму.

Жесткое трудовое и горное законодательства западных стран поддерживают на высоком уровне трудовую и производственную дисциплину, а экономическое стимулирование работников с большим стажем работы и за безопасность труда повышает экономическую заинтересованность в создании безопасных условий труда. Немаловажную роль в низкой текучести кадров и высокой дисциплине труда играет и угроза безработицы, когда нарушитель техники безопасности, как правило, не может быть принят на работу на другие шахты после увольнения.

Шахты украинского Донбасса на протяжении целого столетия отличались высокой аварийностью и травматизмом [54, 55].

При объеме добычи угля 2% от мировой количество аварий 1 категории, связанных со взрывами газа и пыли на шахтах Донецкого бассейна за 10-летие, составило 37% от общего количества таких аварий в угольной промышленности всех стран мира [54]. Динамика аварий, связанных со взрывами угольной пыли, с групповыми несчастными случаями на шахтах Донецкого бассейна за период с 1985 по 2000 гг. приведена в табл. 4.2 [50].

Число аварий со значительными разрушениями и смертельным травмированием людей, в ликвидации которых принимала участие горноспасательная служба Украины (ГВСС), находится ежегодно в пределах 100-120 аварий [55]. Большинство аварий, ликвидированных ГВСС, связано с пожарами, удельный вес которых составляет 47,5%, Взрывами метана и угольной пыли 37%, обрушениями горных пород (18,8%) и загазованностью горных выработок (9,8%) .

Таблица 4.2 – Аварии, связанные со взрывами угольной пыли, с групповыми несчастными случаями на шахтах Донбасса за период с 1985 по 2000 гг.

год	Наименование шахты, объединения или государственной холдинговой компании (ГХК), города	Вид аварии	Число травмированных, чел.	
			всего	в т.ч. смертельно
1	2	3	4	5
1980	Ш. Горская, Первомайск-уголь	Взрыв газа и пыли	86	68
1985	им.Димитрова, Красноармейскуголь	Взрыв газа и пыли	20	11
1988	Комиссаровская, Луганск-уголь	Взрыв газа и пыли	6	6
1992	Суходольская-Восточная, Краснодонуголь	Взрыв газа и пыли	113	63
1994	Славяносербская, Луганск-уголь	Взрыв газа и пыли	57	30
1994	Южнодонбасская №3, Донецкуголь	Взрыв газа и пыли	9	5
1998	им.А.А.Скочинского, Дон-уголь	Взрыв газа и пыли	108	63
1998	Петровская, Донецк	Взрыв газа и пыли	11	6

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5
1998	им. XIX съезда КПСС, Луганскуголь	Взрыв газа и пыли	28	24
1999	им. С.М. Кирова, Луганскуголь	Взрыв газа и пыли	7	7
2000	им. Н.П. Баракова, Краснодонуголь	Взрыв пыли	87	80

Анализ аварийности свидетельствует о росте тяжести аварий (числа травм на одну аварию). Наибольшее число несчастных случаев со смертельным исходом, приходится на обвалы, обрушения, на подземном транспорте, наибольшее число смерлетноотравмированных на одну аварию занимает фактор "взрыв газа и угольной пыли". В среднем на такую аварию приходится 4,0 несчастных случая со смертельным исходом.

Таким образом, состояние промышленной безопасности в угольной отрасли остается достаточно напряженным, противоаварийная устойчивость отечественных угольных предприятий требует постоянного совершенствования. Необходимо отметить актуальность вопросов безопасности горных работ для всех горнодобывающих стран. Наиболее тяжелые последствия имеют место на предприятиях при взрывах с участием угольной пыли. В большинстве случаев такие аварии в связи с тяжестью последствий носят характер общешахтных катастроф.

4.6. Характеристика крупных аварий на шахтах Донецкого бассейна

В 1980-2001 гг. в угольных шахтах Донецкого бассейна произошло 38 аварий 1 категории с групповыми несчастными случаями, расследованными правительственными комиссиями. Обстоятельства и причины данных аварий представлены в табл. 4.3[50]. Особенно возросла тяжесть аварий в минувшем десятилетии. Произошел целый ряд взрывов газа и пыли, пожаров и газодинамических явлений с большим количеством человеческих жертв.

Авариям с групповыми несчастными случаями, как правило, предшествовал целый ряд нарушений техники безопасности. Так, 29.06.91 на шахте "Южно-Донбасская №1" производственного объединения "Донецкуголь" произошел подземный экзогенный пожар, в результате которого пострадало 38 чел., в т.ч. 32 – смертельно.

Таблица 4.3 – Аварии с групповыми несчастными случаями на угольных шахтах Донецкого бассейна в 1980-2001 гг.

Дата аварии	Шахта, объединение, ГХК	Вид аварии	Число постр.		Краткие обстоятельства аварий	Основные причины аварий
			все-го	в т.ч. смерт		
1	2	3	4	5	6	7
26.04.80	Горская Первомайск-уголь	взрыв газа и пыли	86	68	Взрыв допущен в результате дробления глыбы породы накладным зарядом ВВ Т-19 в загазованной и запыленной среде конв. ходка 6 лавы пл.К ₈ .	1.Проветривание забоя меньше расчетного. 2.Невып. противопылевых мерпр. 3.Взрыв открыт. заряда ВВ Т-19
04.03.85	им.Димитрова, Красноармейск-уголь	взрыв газа и пыли	20	11	Взрыв произошел во время ведения взрывных работ в забое конв. штрека в загаз. и запыл. среде	1.Нарушение проветривания забоя из-за повреждения труб. 2.Отложения пыли. 3.Взрывание с расст. 100 м вместо 1480 м. 4.Нахождение людей в тупиковой части штрека
23.05.85	Новоградская, Селидов-уголь	взрыв газа и пыли	5	5	Взрыв произошел при взрывных работах в забое промштрека в загазованной и запыленной среде	1.Нарушение проветривания из-за утечек воздуха в трубопроводе. 2.Невыполнение противопылевых мероприятий. 3.Выгорание аммонита Т-19. 4.Нахождение людей в тупиковой части промштрека

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7
27.06.88	Комиссаровская, Луганск-уголь	взрыв газа и пыли	6	6	Взрыв допущен в загаз. забое уклона при рассоединении под напряжением штепсельного разъема РШ электро-сверла	1.Нарушение проветривания из-за утечек в соединениях стыков вент. труб. 2.Заглубление всех видов защиты в пускателе электро-сверла
09.06.92	Суходольская-Восточная, Красно-донуголь	Взрыв газа и пыли	113	63	Взрыв допущен в забое вент. ходка из-за его загазованности, запыленности, искрообразования от ТКЗ в бронир. кабеле	1.Необеспеченность забоя воздухом (70 вместо 440 м3/мин). 2.Отложение взрывоопас. конц. пыли. 3.Оголенные жилы бронированного кабеля
03.09.94	Славяно-сербская, Луганск-уголь	Взрыв газа и пыли	57	30	Взрыв произошел в выработанном пространстве лавы во время принудительной посадки кровли с помощью БВР накладными зарядами в загазованной среде	1.Зависание кровли и образование взрывчатой МВС. 2.Невыполнение мер по борьбе с пылью. 3.Взрывание открытых 48 зарядов ВВ Т-19 в выработанном пространстве лавы при ее принудительной посадке

Продолжение таблицы 4,3

1	2	3	4	5	6	7
04.04.98	им.Скочинского, Донуголь	Взрыв в газа и пыли	108	63	При включении двигателя лент. конвейера на штреке произошел взрыв метана в бункере и угольной пыли по выработкам	1.Загазованность в застойной верхней части бункера. 2.Запылен. горн. выработ. 3.Искрение в борно двигателя лент. конв. над бункером 4.Отсутствие и неправильное пользование самоспас. 47 человек
02.01.99	им.Кирова, Луганск-уголь	Взрыв в газа и пыли	7	6	При ведении взрывных работ ВВ Т-19 по дроблению глыбы породы в разрезной печи в загазованной атмосфере произошел взрыв газа и пыли	1.Загазирование разреза из-за остановки ВМП. 2.Ведение ВР накл.зарядом ВВ Т-19 в загаз. атмосфере. 3.Нахождение людей в опасной зоне
11.03.00	им.Барак ова Краснодонуголь	взрыв пыли	87	80	При ведении огневых работ керосинорезом на конв. уклоне произошел взрыв угольной пыли	1.Отложения угольной пыли. 2.Применение открытого огня. 3.Прорыв кислородной струи из баллона

Пожар стал следствием загорания конвейерной ленты на барабане второго привода ленточного конвейера 2Л100 в результате трения ленты о футеровку приводного барабана при его пробуксовке. Пробуксовка стала возможной в результате изменения заводской конструкции автоматического натяжного устройства и замены его лебедкой с ручным управлением натяжением ленты, а также засыпки горной массой верхней и нижней ветвей конвейера в месте перегрузки на другой конвейер, схода ленты с натяжного барабана и трения ее об элементы конструкции конвейера. Отсутствие устройства контроля пробуксовки ленты и датчика контроля скорости барабана не обеспечивало его защиты, а неукomплектованность огнетушителями и

отсутствие воды в пожарно-оросительном трубопроводе западного полевого конвейерного штрека не позволили ликвидировать пожар в начальной его стадии.

4.7. Риск аварийности – взрывов угольной пыли

На основании статистической информации о взрывах угольной пыли (метана с участием угольной пыли) на шахтах угледобывающих стран мира и в шахтах Донецкого бассейна можно использовать для расчёта риска этого вида аварий. Вероятностные характеристики, полученные в результате проведенных расчётов, могут быть использованы при планировании противоаварийных мероприятий на предприятиях горного производства.

Учитывая вероятностный характер аварийности, можно с некоторыми допущениями предположить возможность его математического описания дискретными распределениями, а именно, законами Пуассона и экспоненциального закона распределения статистических величин аварийности и травматизма[56, 57].

Закон распределения Пуассона

Закон распределения Пуассона описывает закономерность появления случайных отказов в сложных системах. Этот закон нашёл широкое применение при определении вероятности появления и восстановления отказов.

Случайная величина X распределена по *закону Пуассона*, если вероятность того, что эта величина примет определённое значение m , выражается формулой

$$P_m = (\lambda^m / m!) e^{-\lambda} \quad (4.1)$$

где λ – параметр распределения (некоторая положительная величина); $m = 0, 1, 2, 3, \dots, n$. Математическое ожидание Mx и дисперсия Dx случайной величины X для закона Пуассона равны параметру распределения λ , $Mx = Dx = \lambda$. Распределение Пуассона является однопараметрическим с параметром λ .

Экспоненциальное распределение

Экспоненциальный закон распределения, называемый также основным законом надёжности, часто используют для прогнозирования надёжности в

период нормальной эксплуатации изделий, когда *постепенные отказы* ещё не проявились и надёжность характеризуется *внезапными отказами*. Эти отказы вызываются неблагоприятным стечением многих обстоятельств и поэтому имеют постоянную *интенсивность*. Экспоненциальное распределение находит довольно широкое применение в теории массового обслуживания, описывает распределение наработки на отказ сложных изделий, время безотказной работы элементов радиоэлектронной аппаратуры.

Приведём примеры неблагоприятного сочетания условий работы деталей машин, вызывающих их внезапный отказ. Для зубчатой передачи это может быть действием максимальной нагрузки на наиболее слабый зуб при его зацеплении; для элементов радиоэлектронной аппаратуры – превышение допустимого тока или температурного режима. Плотность распределения экспоненциального закона (рис. 3.1) описывается соотношением

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (4.2)$$

а функция распределения этого закона – соотношением:

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x), \quad (4.3)$$

функция надёжности:

$$P(x) = 1 - F(x) = \exp(-\lambda x), \quad (4.4)$$

математическое ожидание случайной величины X :

$$Mx = \int_0^{\infty} x \lambda \exp(-\lambda x) dx = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.5)$$

дисперсия случайной величины X :

$$Dx = \int_0^{\infty} x^2 \lambda \exp(-\lambda x) dx - 1/\lambda^2 = 1/\lambda^2. \quad (4.6)$$

Экспоненциальный закон в теории надёжности нашёл широкое применение, так как он прост для практического использования. Почти все задачи, решаемые в теории надёжности, при использовании экспоненциального закона оказываются намного проще, чем при использовании других законов распределения. Основная причина такого упрощения состоит в том, что при экспоненциальном законе вероятность безотказной работы зависит только от длительности интервала и не зависит от времени предшествующей работы.

Примеры расчётов

Пример 4.1.

Используя данные табл. 1.2 (за 21 год – с 1979 по 2000 год) найти вероятность безаварийной работы $P(t)$ за время $t = 2$ года в мировом угольном производстве, если известно, что наработка на аварию (отказ) составляет $\lambda = 9,05 \cdot 10^{-1} \text{ год}^{-1}$, а число аварий на любом отрезке времени распределено по закону Пуассона $P_m = (\lambda^m/m!) e^{-\lambda}$.

Решение. Среднее число аварий в год составит $\lambda = 1 \cdot 0,905/1 = 0,905$

Применяя формулу закона Пуассона находим:

$$P_m = (\lambda^m/m!) e^{-\lambda} = (0,905^2/2!) * e^{-0,905} = 0,1657.$$

Вероятность возникновения аварии (взрыва метана с участием угольной пыли) составит

$$P(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,1657 = 0,8343.$$

Пример 4.2.

Используя данные табл. 1.2 (за 21 год – с 1979 по 2000 год) найти вероятность безаварийной работы $P(t)$ за время $t = 2$ года в мировом угольном производстве, если известно, что наработка на аварию (отказ) составляет $\lambda = 9,05 \cdot 10^{-1} \text{ год}^{-1}$. Определить математическое ожидание (Mx) наработки на аварию (отказ) по экспоненциальному закону $P(t) = \exp(-\lambda t)$.

Решение. Для определения вероятности безаварийной работы воспользуемся формулой экспоненциального закона, в соответствии с которой

$$P(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-9,05 \cdot 10^{-1} \cdot 2) = 0,1636.$$

Вероятность возникновения аварии (взрыва метана с участием угольной пыли) составит

$$P(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,1636 = 0,8364.$$

Математическое ожидание наработки на аварию (отказ) равно

$$Mx = 1/\lambda = 1/9,05 \cdot 10^{-1} = 1,105 \text{ года.}$$

Пример 4.3.

Используя данные табл. 1.2 (за 21 год – с 1979 по 2000 год) определить вероятность отсутствия смертельного травматизма ($P(t)$) и вероятность (риск) несчастного случая со смертельным исходом $P(t)_{см}$, математическое ожидание (Mx) наработки на несчастного случая за время $t = 10$ дней, если известно, что наработка на смертельный случай составляет $\lambda = 2,09 \cdot 10^{-1}$ год⁻¹, число аварий и несчастных случаев на любом отрезке времени распределено по экспоненциальному закону $P(t) = \exp(-\lambda t)$.

Решение. Для определения вероятности безаварийной работы воспользуемся формулой экспоненциального закона, в соответствии с которой

$$P(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-2,09 \cdot 10^{-1} \cdot 10) = 0,1237.$$

Вероятность возникновения (риска) несчастного случая составит

$$P(t)_{Ав} = 1 - P(t) = 1 - 0,1237 = 0,8763.$$

Математическое ожидание наработки на несчастный случай (отказ) равно

$$Mx = 1/\lambda = 1 / 2,09 \cdot 10^{-1} = 4,785 \text{ сут}$$

4.8. Вопросы для контроля

1. Горючие и взрывчатые свойства угольной пыли.
2. Факторы, оказывающие влияние на взрывчатость угольной пыли.
3. Особенности взрывов угольной пыли в шахтах.
4. Аварийность на угольных шахтах, связанная с пылевым фактором.
5. Характеристика крупных аварий на шахтах Донецкого бассейна.
6. Риск аварийности – взрывов угольной пыли.

5. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПЫЛЕОТЛОЖЕНИЙ И ЗАПЫЛЁННОСТИ ВОЗДУХА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

5.1. Общие положения

Современные способы подземной добычи угля характеризуются образованием значительного количества угольной пыли и выделением ее в атмосферу горных выработок. К основным мерам борьбы с пылевой опасностью угольного производства относятся все мероприятия, направленные на снижение запыленности воздуха (пылегазовый режим) [58-60]:

- предварительное увлажнение пластов;

- орошение мест пылеобразования и осевшей пыли;
- эффективное проветривание;
- применение механизмов, при работе которых пылеобразование является наименьшим;
- периодическая очистка от пыли откаточных и вентиляционных выработок (3-4 раза в год);
- расположение скиповых подъемов в стволах с исходящей струей воздуха;
- расположение сортировок и фабрик с сухим обогащением таким образом, чтобы пыль не заносилась в шахту.

Борьба с пылью как профессиональной вредностью, предопределяющей возможность заболевания рабочих пневмокониозом, представляет собой сложную инженерную задачу. Снижение запыленности воздуха в шахтах до уровня предельно допустимых концентраций возможно только при комплексном применении различных способов предотвращения пылеобразования, снижения пылевыделения и обеспыливания рудничного воздуха.

При ведении горных работ установлены следующие нормы предельно допустимой концентрации пыли:

- пыль породная и углепородная (содержание SiO_2 10-70%) - 2 мг/м³;
- пыль угольная (содержание SiO_2 5-10%) - 4 мг/м³;
- пыль антрацитовая (содержание SiO_2 менее 5%) - 6 мг/м³;
- пыль каменных углей (содержание SiO_2 менее 5%) - 10 мг/м³.

При разработке проектов противопылевых мероприятий на выемочных участках рекомендуется применять следующие способы.

При **комбайновой очистной выемке** на пологих пластах:

- увлажнение угольного массива через скважины, пробуренные из очистного забоя или из подготовительных выработок (диаметр скважин принимается 45-150 мм, расстояние между скважинами 10-30 м, длина скважин должна быть на 15 м меньше длины лавы);
- орошение в зоне разрушения угля (давление воды у оросителей должно быть не менее 1,2 МПа);
- средства пылеподавления при передвижке секций механизированных крепей.

При **струговой выемке** на пологих пластах:

- секционное орошение с автоматическим включением воды (используется поочередное кратковременное включение секций орошения по всей длине лавы, давление воды у оросителей должно быть не менее 1,2 МПа);
- орошение на погрузочном пункте (используются конусные или зонтичные оросители, давление воды у оросителей должно быть не менее 0,5 МПа).

При очистной выемке **на крутых пластах**:

- предварительное увлажнение угольного массива;
- орошение при отбойке угля;

- очистка от пыли исходящих из очистных забоев потоков воздуха при помощи пылеулавливающих установок.

При ведении **буровзрывных работ**:

- бурение шпуров с промывкой водой;
- предварительное увлажнение угольных пластов;
- орошение или связывание отложившейся угольной пыли на поверхности выработок при взрывании зарядов ВВ в шпурах (удельный расход воды должен составлять 1,5-2 л/м² поверхности выработок);
- орошение при погрузке отбитой горной массы.

При **комбайновом проведении** подготовительных выработок:

- увлажнение массива длинными скважинами (скважина проводится по оси поперечного сечения выработки, диаметр принимается 45-100 мм, длина должна быть кратной суточному подвиганию забоя, давление воды составляет 3-10 МПа);

- орошение водой или водовоздушными смесями, а также связывание пыли или ее смыв (удельный расход воды на орошение должен составлять не менее 100 л на 1 м³ горной массы, давление воды у оросителей должно быть не менее 1,2 МПа);

- пылеотсос с помощью встроенных в комбайн или автономных пылеулавливающих установок;

- всасывающая схема проветривания.

При работе **ленточных конвейеров**:

- орошение с помощью конусных или зонтичных оросителей в местах перегрузки горной массы (давление воды у оросителей должно быть не менее 0,5 МПа, а удельный расход воды - не менее 5 л/т);

- ограждающие борта в местах перегруза длиной (м) не менее двукратной скорости ленты (м/с);

- применение устройств для очистки от пыли и штыба холостой ветви конвейера;

- механические укрытия в местах погрузки и перегрузки для предотвращения выдувания пыли;

- эжекционный пылеотсос на перегрузочных пунктах;

- обмывка выработок не реже 1 раза в месяц.

Для обеспечения рациональной по пылевому фактору технологии очистных работ рекомендуется применять:

- столбовую систему разработки, при которой исключается поступление в очистную выработку пыли из подготовительных выработок;

- одностороннюю работу комбайна;

- схемы транспортировки угля и проветривания, обеспечивающие сопоставленное движение отбитого угля и вентиляционной струи в лаве и прилегающей выработке;

- схемы проветривания с подсыжением исходящей вентиляционной струи для разбавления пыли на вентиляционном штреке у сопряжения с лавой.

5.2. Предварительное увлажнение пластов. Общие положения

При существующих технологиях выемки угля и проведения подготовительных выработок основным способом снижения пылеобразования является предварительное увлажнение угольного массива путем нагнетания воды в пласт через шпурь или короткие скважины, пробуренные из забоя выработки в направлении ее подвигания, а в очистных выработках - также через длинные скважины, пробуренные параллельно забою лавы.

Увлажнение угля способствует росту адгезионно-когезионных сил между поверхностями пылевидных частиц и образованию из них крупных агрегатов, быстро осаждающихся из воздуха под действием силы тяжести. Установлено, что увеличение влажности угля на 1-3% приводит к снижению пылеобразования на 75-80%. При влажности угля более 12% пылеобразование практически отсутствует [2].

Водопроницаемость угольного пласта и прирост влаги зависит от выхода летучих веществ угля, фильтрационно-коллекторских свойств массива, давления, темпа и времени нагнетания воды.

Для улучшения смачиваемости угля при предварительном его увлажнении применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Молекулы ПАВ адсорбируются на поверхности пленок жидкости и тем самым снижают поверхностное натяжение воды и повышают смачивающую способность ее за счет адсорбции молекул ПАВ на поверхности частиц пыли.

По химическим свойствам ПАВ делятся на две группы: ионогенные (анионоактивные и катионоактивные) и неионогенные. Наибольшее применение при увлажнении массивов угля нашли неионогенные ПАВ - ДБ, ДТ-7, неонол-1020 и СТС. Рабочая концентрация растворов 0,1-0,2%.

Для предварительного увлажнения угля в массиве применяют следующее оборудование.

Бурение шпуров или скважин диаметром до 45 мм осуществляют с помощью ручных электро - или пневмосверл, а при необходимости бурения коротких скважин до 56 мм применяют переносные перфораторы.

Для бурения из подготовительных выработок длинных скважин применяют буровые установки СБГ-1М, «СТАРТ», БАЭ-15 и НКР100М.

Герметизацию скважин и шпуров осуществляют шланговыми гидрозатворами «Таурис-45», «Таурис-50», ГТ-45, ГТ-60, ГАС-45, АГ-4А. Гидрозатворы шлангового типа, имеют металлическую расширяющую оплетку, заключенную между внутренним и наружным резиновыми слоями и клапан, настроенный на определенное давление. При подаче воды в полость гидрозатвора под ее давлением вначале происходит расширение гидрозатвора по диаметру на 10 мм и более относительно исходного диаметра и герметизация стенок шпура или скважины, а затем при срабатывании клапана вода поступает в фильтрационную часть шпура или скважины.

Нагнетание воды производится с помощью высоконапорных насосных установки УНР-02, УИП, УНШ-00, УНШ-01 и УНГ, обеспечивающих давление до 32 МПа и подачу воды до 90 л/мин.

При хорошей водопроницаемости пласта допускается производить низконапорное нагнетание воды непосредственно от пожарно-оросительного трубопровода.

Контроль объема закачиваемой воды осуществляется водомерами - счетчиками крыльчатого типа УВК-20, УВК-25, СВХК-1,6, СХВК-4; давление воды измеряется манометрами.

Эффективность предварительного увлажнения угольного массива не превышает 85%. Поэтому для снижения пылепоступления практически при всех производственных процессах применяется различного вида орошение - орошение горной массы через насадки и форсунки, пневмогидроорошение, туманообразование и водовоздушное эжектирование.

При ведении очистных работ и проведении подготовительных выработок комбайнами избирательного действия по пластам с целью снижения пылеобразования должно применяться предварительное увлажнение угля в массиве. Допускается не применять предварительное увлажнение (разрешение Госгорпромнадзора, заключение МакНИИ или ЭТЦ):

- при влажности угля 12% и более, при условии поддержания запыленности воздуха с помощью других противопылевых мероприятий в пределах ПДК;

- если нагнетание воды в пласт приводит к ухудшению условий труда и снижает безопасность ведения горных работ в выработке (обрушение кровли, размокание почвы);

- если производство работ по бурению увлажнительных скважин (шпуров) и нагнетанию в них жидкости невозможно по горногеологическим или горнотехническим условиям;

- если содержание пыли в воздухе рабочей зоны устойчиво поддерживается в пределах предельно допустимых концентраций при применении других способов борьбы с пылью.

Решение о возможности ведения очистных и подготовительных работ по неувлажненному массиву принимается комиссией в составе технического руководителя предприятия, представителей горнотехнической инспекции Донецкой Народной республики, МакНИИ на основании следующих материалов:

- результатов замеров запыленности воздуха в рабочих зонах очистной выработки;

- акта проведения опытных нагнетаний жидкости в данной выработке или в соседних выработках по тому же пласту с указанием причин нецелесообразности предварительного увлажнения угля в массивах по горнотехническим условиям, акт должен быть утвержден директором шахты;

- перечня мероприятий по борьбе с пылью с указанием технически достижимого уровня остаточной запыленности воздуха;

- заключения МакНИИ.

5.3. Порядок применения предварительного увлажнения угля в массиве [2, 16, 29, 35]

Параметры нагнетания жидкости на газоносных и выбросоопасных пластах должны быть увязаны с мероприятиями соответственно по дегазации и борьбе с внезапными выбросами угля и газа. Нагнетание жидкости в пласт считается законченным при подаче расчетного количества жидкости в скважину (шпур).

При нагнетании жидкости в пласт бурение скважин производится с применением мер борьбы с пылью. Нагнетание жидкости в угольные пласты производится через скважины, пробуренные из примыкающих к очистной выработке подготовительных, подэтажных, полевых или пройденных по соседнему пласту выработок или через скважины или шпуры, пробуренные из очистной выработки.

Нагнетание воды в пласт в очистных выработках должно производиться, как правило, через длинные скважины, пробуренные из подготовительных выработок параллельно забою лавы. Увлажнение по такой схеме применяют при столбовой системе разработки, опережении хотя бы одной из подготовительных выработок забоя лавы при сплошной системе разработки

и при щитовой выемке крутых пластов. Скважины для нагнетания воды могут быть пробурены из одной или навстречу из двух выработок. В щитовых лавах нагнетание воды должно производиться в подготавливаемую к выемке полосу угля.

При бурении скважин из подготовительных выработок длина скважины должна быть меньше на 10 – 15 м высоты этажа. Технологическая схема нагнетания воды приведена на рис. 5.1.

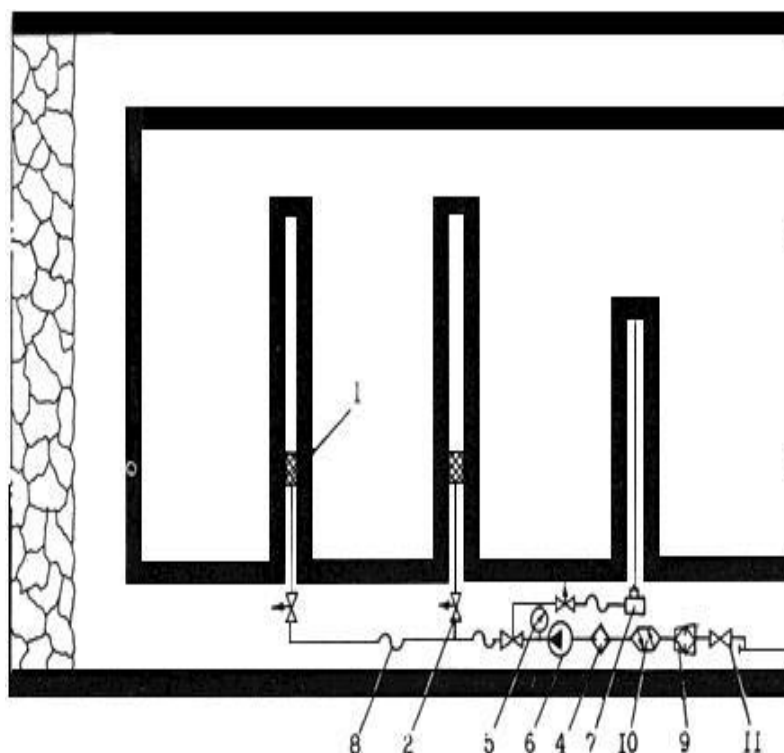


Рис. 5.1 – Технологическая схема высоконапорного нагнетания жидкости в угольный массив через скважины, пробуренные из подготовительной выработки:

1 - гидрозатвор; 2 - вентиль разгрузочный; 4 - дозатор смачивателя; 5 - манометр; 6 - насосная установка; 7 - буровой станок; 8 - рукав напорный для жидкости; 9 - фильтр штрековый; 10 - расходомер; 11 - вентиль фланцевый.

В случае отсутствия невозможности обеспечения направленного бурения скважин на всю высоту этажа нагнетание воды в пласт может производиться через шпурь или короткие скважины, пробуренные из очистной выработки (рис. 5.2)

При наличии в пласте развитой системы гидропроводных трещин, следует применять технологическую схему нагнетания с предварительным тампонируванием пласта (рис. 5.3).

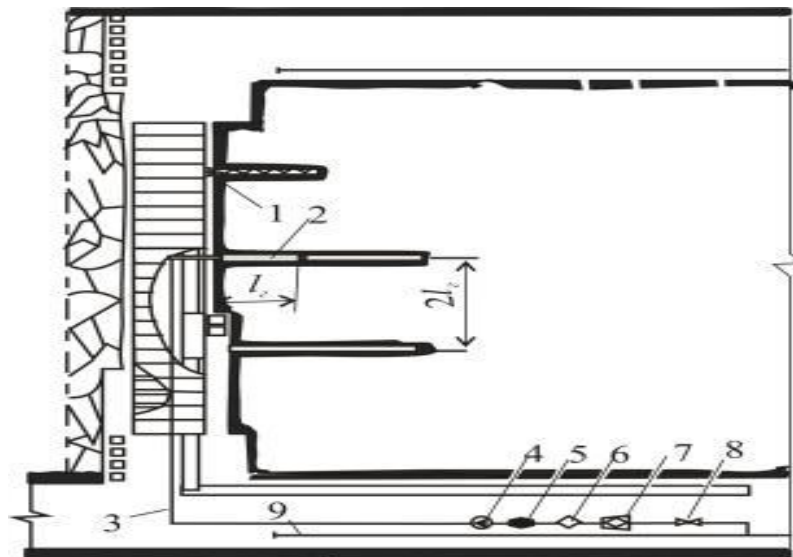


Рисунок 5.2 – Технологическая схема нагнетания воды в пласт через шпуры (короткие скважины) в прямолинейном забое:

1 - электросверло; 2 - герметизатор; 3 - забойный водопровод; 4 - установка насосная; 5 - расходомер; 6 – дозатор, смачивателя; 7 - фильтр штрековый; 8 - вентили; 9 - штрековый трубопровод

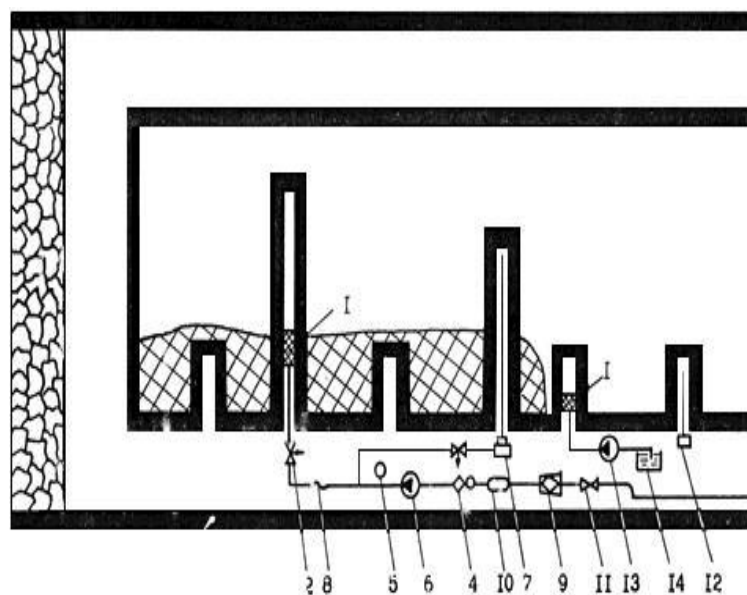


Рис. 5.3 – Технологическая схема нагнетания жидкости в угольный массив через скважины, пробуренные из подготовительной выработки, с предварительным тампонированием пласта:

1 - гидрозатвор; 2 - вентиль разгрузочный; 4 - дозатор смачивателя; 5 - манометр; 6 - насосная установка; 7 - буровой станок; 8 - рукав напорный для жидкости; 9 - фильтр штрековый; 10 - расходомер; 11 - вентиль фланцевый; 12 - электросверло; 13 - насос для закачки тампонажного состава; 14 - емкость для тампонажного состава.

При выемке угля щитовыми агрегатами на крутых пластах нагнетание жидкости производится в подготавливаемый к выемке пласт или полосу угля (рис. 5.4).

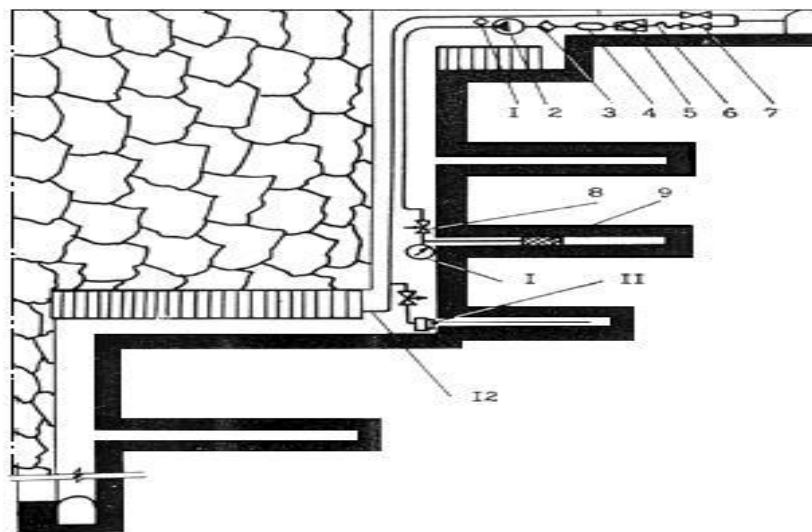


Рис. 5.4 – Технологическая схема нагнетания жидкости в угольный массив при выемке угля щитовым агрегатом на крутых пластах: 1 - манометр; 2 - насосная установка; 3 - дозатор смачивателя; 4 - расходомер; 5 - фильтр штрековый; 6 - напорный рукав; 7 - вентиль фланцевый; 8 - вентиль разгрузочный; 9 - гидрозатвор; 10 - буровой станок; 11 - забойный водовод.

Допускается с разрешения Госгорпромнадзора по заключению МакНИИ или ЭТЦ не применять предварительное увлажнение при влажности угля 12% и более, при условии поддержания запыленности воздуха с помощью других противопылевых мероприятий в пределах ПДК, если нагнетание воды в пласт приводит к ухудшению условий труда и снижает безопасность ведения горных работ (например, происходит обрушение кровли или размокание почвы), или, если производство работ по бурению скважин или шпуров для предварительного увлажнения угля в массиве и нагнетание в них воды невозможно по горногеологическим или горнотехническим условиям (например, невозможно выполнить бурение шпуров или скважин на необходимую глубину или пласт «воду не принимает»).

Длина скважин принимается из условия обеспечения увлажнения угля по всей длине лавы и исключения прорыва воды в подготовительную выработку, а при бурении скважин из двух выработок навстречу друг другу в соседнюю скважину

$$l_c = L_l - l_2, \text{ м или } l_c = 0,5L_l - l_2, \text{ м,} \quad (5.1)$$

где L_l - длина лавы, м; $l_г$ - глубина герметизации скважин, м. Глубина герметизации скважины должна перекрывать;

$l_г$ - протяженность разгружающего влияния выработки и принимается $l_г = 10-15$ м.

Расстояние между скважинами принимается равным двойной длине герметизации скважин $l_p = 2l_г$, м.

Расстояние между первой скважиной и плоскостью забоя на момент начала бурения рассчитывается по зависимости

$$L_1 = (T_б + T_н V) + 15, \text{ м,} \quad (5.2)$$

где L_1 - расстояние между первой скважиной и плоскостью забоя, м; $T_б$ и $T_н$ - соответственно продолжительность бурения скважины и нагнетания в нее воды, сут; V - средняя скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

Нагнетание жидкости осуществляется с помощью высоконапорной насосной установки. Надработанные или подработанные угольные пласты могут увлажняться при давлении нагнетаемой жидкости 1,5-3,0 МПа. В этом случае нагнетание жидкости может производиться от пожарно-оросительного водопровода.

При подходе очистного забоя на величину зоны опорного давления до подключений к пожарно-оросительному трубопроводу или насосу скважины, последняя отключается, а к трубопроводу или насосу подключается новая скважина. Диаметр скважины должен составлять от 45 до 150 мм и соответствовать типу герметизатора (гидрозатвора).

В потолкоуступном забое шпуров располагаются в кутке уступа с восстанием на 5-12 градусов к линии простирания пласта. Расстояние между шпурами в потолкоуступной выработке принимают равным длине уступа. Длина (глубина) шпуров выбирается, исходя из технологии выемки угля в очистной выработке, и принимается в пределах 1,8-5 м. Выемка угля до следующего цикла нагнетания осуществляется на длину шпура.

Расстояние между шпурами принимается в пределах 2-5 м, а глубина герметизации 1-2 м. Указанные параметры уточняются при опытном нагнетании. Расход жидкости на один шпур определяется по формуле 5.15, а давление по табл. 5.2.

Бурение и нагнетание жидкости в угольные пласты производят специальные бригады рабочих или специализированная организация, в обязанности которых входят: бурение шпуров или скважин, их очистка от буровой мелочи и герметизация, нагнетание жидкости, монтаж и переноска оборудования.

При сплошной системе разработки, малом опережении подготовительных выработок и на пластах, имеющих сложную гипсометрию, предварительное увлажнение производится через шпур, пробуренные из очистной выработки (рис.5.5). В данной схеме может быть предусмотрено нагнетание жидкости одновременно в верхней и нижней частях лавы или групповое нагнетание, при котором к одной насосной установке подключается несколько шпуров. При групповом нагнетании необходимо контролировать количество подаваемой жидкости в каждый шпур. Шпуров должны располагаться посередине мощности пласта. Если пласт состоит из нескольких пачек различной плотности, то шпуров бурят по пачке с более крепким углем. Если кровля или почва состоит из пород, которые теряют устойчивость при увлажнении, шпуров располагают на расстоянии от них, равном $2/3$ мощности пласта.

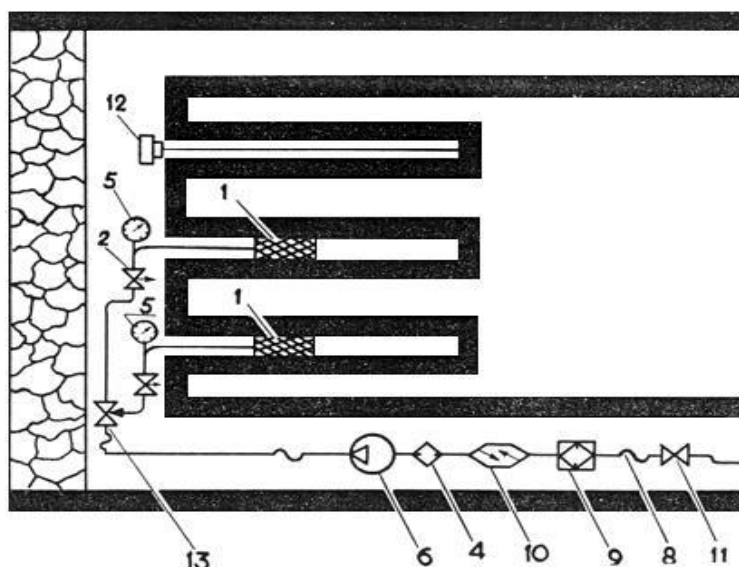


Рис. 5.5 – Технологическая схема нагнетания жидкости в угольный массив через шпур, пробуренные из очистной выработки:

1 - гидрозатвор; 2 - вентиль разгрузочный; 4 - дозатор смачивателя; 5 - манометр; 6 - насосная установка; 8 - рукав напорный для жидкости; 9 - фильтр штрековый; 10 - расходомер; 11 - вентиль фланцевый; 12 - сверло; 13 - кран-тройник.

Рабочие, назначенные для ведения работ по нагнетанию жидкости в угольный массив, должны пройти обучение по программе, согласованной с МакНИИ и ВостНИИ и утвержденной техническим директором производственного объединения.

Длина шпуров (скважин), пробуренных из очистной выработки, составляет в прямолинейных забоях 1,8-10м, в уступных - более половины его длины и должна быть кратной циклам выемки угля

$$lc(u) = l_г + nlu, м, \quad (5.3)$$

где $l_г$ - глубина герметизации шпуров или скважин, м (должна производиться за зоной опорного давления и принимается в прямолинейных забоях не менее 1 м, в уступных - не менее половины его длины); $l_ц$, - глубина выемки угля за один цикл, м; n - число циклов выемки.

Расстояние между скважинами принимается равным двойной длине герметизации скважин $l_p = 2l_г$, м.

Скважины (шпуры) располагают по середине мощности пласта, а на пластах сложного строения по самой прочной пачке угля. Если кровля или почва пласта теряет устойчивость при увлажнении, то шпуры (скважины) располагают от них на расстоянии $2/3$ мощности пласта.

5.4. Расчет параметров предварительного увлажнения угольного массива

Ведение работ по неувлажненному массиву угля допускается при естественной влажности угля 12% и более и при применении способов борьбы с пылью, при которых содержание пыли в воздухе устойчиво поддерживается в пределах допустимых концентраций.

Нагнетание жидкости в угольные пласты производится через скважины, пробуренные из примыкающих к очистной выработке подготовительных, полевых или пройденных по соседнему пласту выработок или через скважины или шпуры, пробуренные из очистной выработки.

К параметрам способа предварительного увлажнения угольного пласта впереди очистного забоя относятся:

- диаметр скважин d ;
- длина скважин L_c ;
- расстояние между скважинами C ;
- глубина герметизации скважины $L_г$;

- давление нагнетания P ;
- темп нагнетания q ;
- количество жидкости, подаваемой в скважину Q ;
- продолжительность нагнетания T .

Диаметр скважин принимается в зависимости от длины скважины и диаметра бурового инструмента и составляет от 45 до 150 мм.

Длина скважин (L_c) зависит от наклонной высоты этажа или длины лавы (L_l) и определяется из выражения

$$L_c = L_l - 15, \quad (5.4)$$

где L_l - наклонная высота этажа (длина лавы), м.

В том случае, когда скважины для нагнетания бурятся из вентиляционного и откаточного штреков (при большой длине лавы), их длину определяют из выражения

$$L_c = L_l/2 - 7,5. \quad (5.5)$$

Скважины бурятся по наиболее крепкой пачке пласта параллельно очистной выработке (рис.5.6).

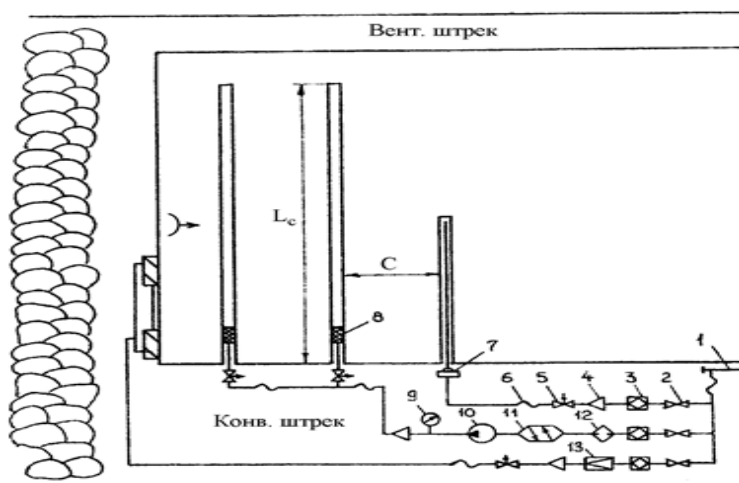


Рис.5.6 – Схема орошения и высоконапорного нагнетания жидкости в пласт через скважины, пробуренные из подготовительной выработки:

1 - оросительно-пожарный трубопровод; 2 - вентиль фланцевый; 3 - фильтр штрековый; 4 – переходник; 5 - вентиль разгрузочный; 6 - рукав напорный; 7 - буровой станок; 8 – гидрозатвор; 9 – манометр; 10 - насосная установка; 11 – расходомер; 12 – дозатор; 13 - клапан редуционный.

Расстояние между скважинами принимают в пределах 10-30 м, в конце процесса нагнетания не должно превышать 30 м. Герметизация скважин в зависимости от мощности пласта производится на глубину 5-15 м.

Количество жидкости Q (м³), которое необходимо подать в скважину, определяется по формуле

$$Q = \{1.1(Lc - Lz)Cm q_{жс} \gamma\} / 1000, \text{ м}^3, \quad (5.6)$$

где m - мощность пласта, м;

Lz - глубина герметизации, м;

C - расстояние между скважинами, м

$q_{жс}$ - удельный расход жидкости, $q_{жс} = 10-40$ л/т;

γ - плотность угля, т/м³.

Продолжительность нагнетания T (ч) определяется по формуле

$$T = Q / q, \quad (5.7)$$

где q - темп нагнетания, м³/ч.

Темп нагнетания при низконапорном увлажнении от оросительного трубопровода должен составлять 1-10 л/мин (0,06-0,6 м³/ч). Если при низконапорном увлажнении не обеспечивается темп нагнетания свыше 1 л/мин, то увлажнение пласта производят с помощью высоконапорной насосной установки. Темп нагнетания в этом случае принимается равным производительности насосной установки:

- для УН-35 - 35 л/мин (2,1 м³/ч);

- для НВУ-30М - 30 л/мин (1,8 м³/ч).

Низконапорное увлажнение пласта от оросительного трубопровода производится только для нисходящих или горизонтальных скважин, пробуренных из подготовительных выработок.

Данные высоконапорного нагнетания жидкости в пласт приведены в табл.5.1.

Таблица 5.1 – Предельные значения давлений нагнетания жидкости

Марки углей	Выход летучих, %	Коэффициент крепости по Протодьяконову	Значения давления, исключаяющего гидроразрыв пласта, МПа
А, П /А	Менее 9	2,0-1,0	До 30,0
Т, ОС, К	9-20	1-1,3	1,5-8,0
К, Ж	20-27	1,3	1,5-7,0
Ж	27-35	1,3-1,6	5,0-12,0
Г, Д	Более 35	1,0-1,6	7,0-13,0

В условиях, где производится дегазация пластов, дегазационные скважины могут быть использованы для нагнетания жидкости в пласт после окончания дегазации участка. Увлажнение угля в массиве через дегазационные скважины производится на расстоянии не менее 100 м до очистной выработки.

Для повышения эффективности увлажнения угля в массиве рекомендуется добавлять в воду смачиватели: ДБ в количестве 0,2%, синтанол жидкий (0,1%), синтанол твердый СТС (0,3%).

При сплошной системе разработки, малом опережении подготовительных выработок и на пластах, имеющих сложную гипсометрию, предварительное увлажнение производится через шпур, пробуренные из очистной выработки. Длина шпуров принимается в пределах 1,8-5 м. Выемка угля до следующего цикла нагнетания осуществляется на длину шпура. Расстояние между шпурами принимается в пределах 3-5 м, а глубина герметизации 1-2 м. Расход жидкости на один шпур определяется по формуле (Q).

В подготовительном забое скважина для предварительного увлажнения угольного массива проводится по оси поперечного сечения проводимой выработки (рис.5.7).

К параметрам способа предварительного увлажнения угольного пласта в подготовительном забое относятся:

- диаметр скважины d ;
- длина скважины L_c ;
- глубина герметизации скважины L_2 ;
- давление нагнетания P ;
- темп нагнетания q ;
- количество жидкости, подаваемой в скважину Q ;
- продолжительность нагнетания T .

Диаметр передовой скважины определяется типом бурового станка и инструмента и принимается в пределах 45-100 мм.

Длина скважины принимается кратной суточному подвиганию подготовительного забоя.

Глубина герметизации скважины принимается 3-5 м.

Давление нагнетания составляет 3-10 МПа.

Темп нагнетания жидкости 5-30 л/мин (0,3-1,8 м³/ч).

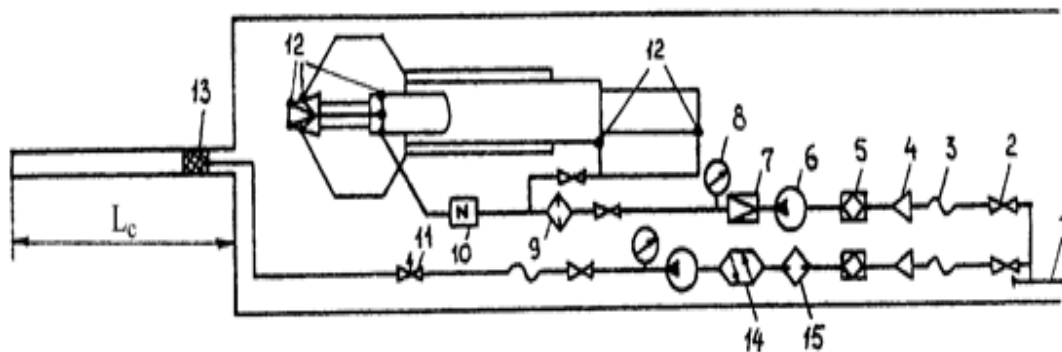


Рис.5.7 – Схема орошения и предварительного увлажнения массива в подготовительном забое:

1 - оросительно-пожарный трубопровод; 2 - вентиль фланцевый; 3 - рукав напорный; 4 – переходник; 5 - фильтр штрековый; 6 - насосная установка; 7 - клапан редуционный; 8 – манометр; 9 - фильтр комбайновый; 10 - реле блокировки; 11 - вентиль разгрузочный; 12 – оросители; 13 - гидрозатвор; 14 – расходомер; 15 – дозатор.

При проведении подготовительных выработок комбайнами увлажнение угля в массиве должно производиться через скважину, пробуренную в средней части выработки посередине мощности пласта (или пачки пласта с наиболее крепким углем). Длина скважины принимается кратной величине суточного подвигания забоя, а глубина герметизации - равной половине ширины выработки и определяется по формуле

$$l_{c(u)} = l_z + n * l_n, \quad (5.8)$$

где l_n - величины суточного подвигания забоя, м,.

Нагнетание воды в пласт должно осуществляться с помощью высоконапорной насосной установки. При этом максимальное давление нагнетаемой в пласт воды должно приниматься на 20-30% ниже величины, при которой происходит гидроразрыв пласта. Расчет давление воды производится по формуле

$$P = 0,014K_m * H, \text{ МПа}, \quad (5.9)$$

где K_m - коэффициент влияния степени метаморфизма угля пласта, значения, которого находятся в пределах 1,2 - 2,6;

H - глубина ведения горных работ, м.

Количество жидкости, которое необходимо подавать в шпур или скважину, определяется по формуле

$$Q = \{1.1(l_c - l_2)l_{p(ш)}m q_{ж} \gamma\} / 1000, м^3 \quad (5.10)$$

где $l_{p(ш)}$ - расстояние между скважинами при увлажнении угля в очистных выработках или ширина подготовительной выработки, м; m - мощность пласта, м; q - удельный расход жидкости принимается в зависимости от марки (метаморфизма) угля и составляет 10-25 л/т (для антрацитов определяется опытным путем); γ - плотность угля, т/м³.

Продолжительность нагнетания жидкости в скважину (шпур) определяется по формуле

$$T_n = 16,7 * Q / q_n, ч \quad (5.11)$$

где q_n - темп нагнетания, который для эффективного нагнетания должен составлять 10-15 л/мин.

При нагнетании через шпур в потолкоуступных выработках увлажнение должно производиться в периоды, когда другие работы в выработках не ведутся. Рабочие в этом случае должны находиться выше увлажняемой зоны, в которую нагнетается жидкость.

На скважины, пробуренные из подготовительных выработок, составляется акт, в котором указываются фактические параметры каждой скважины, отклонение их от проектных значений. Акт приемки-сдачи скважин, после их подключения к пожарно-оросительному трубопроводу или насосу, подписывается комиссией, в которую включаются представители подрядной организации и заказчика. Акт утверждается главным инженером шахты.

В случае прорыва жидкости из скважины (шпура) в соседнюю скважину (шпур) или в выработанное пространство нагнетание ее в данную скважину (шпур) прекращают и насосную установку переключают на следующую скважину (шпур).

Рабочий, выполняющий работы по нагнетанию жидкости через скважины, в начале и в конце смены должен записывать показания расходомера и манометра, а также фиксировать все остановки насоса и случаи появления жидкости в выработке, из которой осуществляется увлажнение.

На участке, который проводит работы по нагнетанию, должен вестись "Журнал контроля и учета работ по нагнетанию воды в пласт".

При обнаружении неисправностей в насосной установке, гидрозатворе или водопроводной арматуре установка должна быть немедленно отключена и неисправность устранена. После окончания нагнетания необходимо производить выпуск жидкости из восстающих скважин диаметром более 45 мм на крутых и крутонаклонных пластах с целью предотвращения ее прорыва при выемке угля.

Запрещается:

- ремонтировать высоконапорные водопроводы, находящиеся под давлением;
- устанавливать гидрозатворы в скважину или шпур и извлекать его из них под давлением жидкости;
- находиться против устья скважин или шпуров в процессе нагнетания жидкости;
- находиться против устья восстающей скважины при пуске воды;
- эксплуатировать водопровод высокого давления при нарушении герметичности.

В условиях, где производится дегазация пластов, дегазационные скважины могут быть использованы для нагнетания жидкости в угольный массив после того, как обрабатываемый участок будет дегазирован. Увлажнение угля в массиве через дегазационные скважины должно производиться на расстоянии не менее 100 м до очистной выработки. На газоносных пластах дегазационная скважина, отключенная от дегазационного газопровода для увлажнения угля в массиве, должна быть вновь подключена к газопроводу на расстоянии не менее 100 м до лавы.

Скважины бурятся из откаточного (вентиляционного) штреков или из обоих штреков. При бурении скважин из одного штрека глубина их должна быть на 15 м меньше высоты этажа (подэтажа) или длины лавы, при бурении из обоих штреков - на 7,5 м меньше высоты половины этажа (лавы). Скважины должны буриться по наиболее крепкой пачке пласта, параллельно очистной выработке.

При слоевой выемке угольных пластов производится заблаговременное увлажнение сразу всех слоев через скважины, пробуренные из выработок одного или нескольких слоев. Опережение выемки первого слоя относительно последнего не должно при этом превышать 6 мес., а параметры нагнетания принимаются из расчета увлажнения всей вынимаемой этими слоями мощности пласта.

Расстояние между скважинами принимается в пределах 10-30 м, а герметизация скважин производится на глубине, равной эффективному радиусу увлажнения (5-15 м). Расстояние между скважинами, глубина герметизации уточняются при опытной нагнетании. Расстояния от скважины до плоскости забоя в конце процесса нагнетания не должно превышать 30 м.

5.5. Показатели пылеотложения и пылевзрывоопасности горных выработок

По интенсивности пылеотложения все горные выработки делятся на две группы:

- выработки (участки выработок) со стабильной и относительно низкой (до $1,2 \text{ г/м}^3$ в сутки) интенсивностью пылеотложения (табл. 5.2);
- выработки (участки выработок) с непостоянной и высокой интенсивностью пылеотложения (более $1,2 \text{ г/м}^3$ в сутки).

Перечень выработок, относящихся к первой группе, а также максимальные значения интенсивности пылеотложения в них приведены в табл.5.3.

Ко второй группе относятся:

- конвейерные выработки на всем протяжении;
- участки подготовительных выработок, проводимых по угляю или по угляю и породе, на протяжении 50 м от забоев;
- погрузочные пункты лав, погрузочные пункты из углеспусков, гезенков и скатов, а также участки откаточных штреков на протяжении не менее 25 м в обе стороны от указанных мест и от опрокидывателей;
- участки откаточных штреков, уклонов и бремсбергов с транспортированием угля на протяжении 25 м от мест их сопряжения;
- участки вентиляционных штреков и других вентиляционных выработок с исходящей струей воздуха, протяженностью 200 м от лавы.

Степень пылевзрывобезопасности горной выработки определяется нижним пределом взрываемости отложившейся угольной пыли и интенсивностью пылеотложения.

К *опасным по взрывам пыли* относятся пласты угля с выходом летучих веществ 15% и более, а также пласты угля (кроме антрацитов) с меньшим выходом летучих веществ, взрывчатость пыли которых установлена лабораторными испытаниями.

Для предотвращения взрывов угольной пыли в шахтах применяются специальные меры по пылевзрывозащите, включающие выполнение следующих мероприятий:

- определение взрывчатых свойств угольной пыли;
- определение интенсивности пылеотложения в горных выработках;
- выбор и выполнение взрывозащитных мероприятий;

- контроль пылевзрывобезопасности горных выработок.

Показателями взрывчатых свойств угольной пыли являются нижний предел взрываемости и норма осланцевания.

Таблица 5.2 – Выработки со стабильной и относительно низкой интенсивностью пылеотложения

Выработка (участок выработки)	Максимальная интенсивность пылеотложения, г/(м ³ сут)
1	2
Выработки околоствольного двора: - откаточного горизонта - с транспортированием угля - без транспортирования угля вентиляционного горизонта	0,4 0,2 0,4
Основные (капитальные) выработки со свежей струей воздуха (кроме конвейерных): - с транспортированием угля - без транспортирования угля Основные выработки с исходящей струей	0,4 0,2 0,4
Горизонтальные и наклонные выработки со свежей струей воздуха вне мест интенсивного пылеотложения (кроме конвейерных): - с транспортированием угля - без транспортирования угля	1,2 0,4
Участки вентиляционных штреков и другие выработки с исходящей струей воздуха, расположенные на расстоянии более 200 м от очистных выработок	1,2
Тупиковые подготовительные выработки вне призабойного участка (на расстоянии более 50 м от забоя)	1,2

Нижний предел взрываемости отложившейся угольной пыли - это максимально допустимое количество угольной пыли, при котором невозможно распространение взрыва по всему запыленному участку.

Под **нормой осланцевания** горных выработок понимается наименьшее содержание негорючих веществ в процентах, при котором угольная пыль в смеси с инертной не взрывается. Нижние пределы взрываемости и нормы осланцевания определяются в лабораториях МакНИИ.

Взрыв угольной пыли имеет ряд особенностей по сравнению со взрывом метана. Взрыву пыли предшествуют накопление тепла в результате реакции окисления и образование газообразных продуктов. Облако угольной пыли способно самозаряжаться электричеством вследствие трения пылинок друг о друга и разряжаться с появлением искр, которые могут воспламенить пыль. При взрыве угольной пыли образуется много оксида углерода, тогда как при взрыве метана – преимущественно диоксид углерода и другие газы. Температура воспламенения угольной пыли составляет 700 – 800°С. При сгорании 1 кг угольной пыли выделяется около 34 МДж тепла. Основными факторами, оказывающими влияние на взрывчатость угольной пыли, являются: выход летучих веществ, дисперсность, состав шахтной атмосферы, зольность угля, массовая концентрация пыли. Во взрыве участвует пыль с размером частиц менее 100 мкм.

Так как отложившаяся в выработках пыль потенциально взрывчата, существует нижний предел взрывоопасной запыленности выработок, при котором поднимаясь в воздух пыль образует концентрацию пылевого аэрозоля 70 – 100 г/м³. При наличии в шахтной атмосфере метана степень взрывчатости пыли повышается. Взрывчатость угольной пыли в зависимости от содержания метана приведена в табл. 5.3.

Нижний предел взрывчатости взвешенной угольной пыли при концентрации метана 1 % колеблется для различных пластов и марок углей от 5 до 100 г/м³. Верхний предел взрывной концентрации пыли в шахтном воздухе может достигать 2 – 3 кг/м³. Наибольшую силу взрыв шахтной пыли имеет при концентрации 300 – 400 г/м³. Нижний предел взрывчатости пыли горючих сланцев при влажности 3,6 % составляет 75 г/м³.

Повышение зольности угольной пыли способствует снижению ее взрывчатости. Угольная пыль не взрывается при содержании в ней 60—70 % золы или инертных частиц. Рост влажности также снижает взрывчатость угольной пыли. Влага действует как инертная добавка, уменьшающая тепловой баланс системы, и как среда, способствующая слипанию мелких частиц в более крупные и их осаждению. При влажности 20 % и более осевшая пыль не переходит во взвешенное состояние и не может участвовать в создании взрывоопасных концентраций. Источниками воспламенения угольной пыли в шахте служат вспышки или взрывы метана, выгорание ВВ, электрические искры и дуги, открытое пламя и т. д.

Таблица 5.3 – Взрывчатость угольной пыли в зависимости от содержания метана

Наименование показателей	Численное значение показателей				
Содержание метана в воздухе выработок, %	0,5	1,5	2,0	2,5	3,0
Нижний предел взрывоопасной концентрации пыли, г/м ³	30	25	15	10	8,5

Наиболее частой причиной воспламенения пыли является взрыв метана и взрыв или выгорание ВВ. Взрывчатость пыли устанавливают лабораторным анализом. Если пыль взрывчата, то такой пласт относят к опасным по пыли и шахту переводят на пылевой режим.

При изучении комплекса вопросов, связанных со взрывами угольной пыли [1, 2], в нормативной и технической литературе рассматриваются частицы размером до 1000 мкм. В Правилах безопасности США (ПБ США) к отложившейся пыли относятся частицы, проходящие через сито № 20 (831 мкм). По нормам России, США, Австралии к витающей пыли относят частицы, проходящие через сито № 200 (74 мкм) [1, 2, 16, 29, 35]. Частицы по размерам до 831 – 1000 мкм при скоростях ударной взрывной волны 335 – 435 м/с и более могут переходить во взвешенное состояние и принимать участие во взрывах.

При изучении взрывчатых свойств пыли определяется ее нижний предел взрываемости (НПВ) σ_{lo} – максимально допустимое количество отложившейся пыли, отнесенное к единице объема выработки, при которой невозможно распространение взрыва по запыленному участку (г/м³). Нижний предел взрываемости пыли выражается в г/м³ [40].

Поскольку НПВ и концентрация витающей пыли (C_v) в воздухе при подавляющем количестве технологических операций различаются в 10^3 – 10^4 раз, сопоставление σ_{lo} (г/м³) и C_v (мг/м³) не имеет практического смысла. В связи с этим степень опасности выработок с точки зрения возможности возникновения и распространения взрыва выявляют путем сопоставления σ_{lo} с величиной пылеотложения Pt (г/м³ сут.) за анализируемый период (сутки). Это определяет периоды работ по уборке пыли, ее связыванию или осланцеванию.

Величина НПВ обусловлена свойствами угля: выходом летучих веществ, зольностью, влажностью и смачиваемостью, а также дисперсным составом выделяющейся угольной пыли. Важным показателем, регламентируемым действующими Правилами безопасности при обогащении и брикетировании углей (сланцев) ПБ 05-580-03, является норма осланцевания ($N, \%$) — наименьшее содержание негорючих веществ, при котором угольная пыль не взрывается.

Параметрами, определяющими взрывчатость угольной пыли, в странах Евросоюза [43 – 45] и Донецкой Народной Республики [40] являются:

- нижняя граница взрывчатости облака пыли;
- минимальная температура воспламенения слоя пыли;
- минимальная температура воспламенения облака пыли;
- минимальная энергия воспламенения облака пыли;
- максимальное давление взрыва;
- максимальная скорость нарастания давления взрыва.

К опасным по взрывам пыли относят пласты угля с выходом летучих веществ $V^{daf} \geq 15\%$. С ростом V^{daf} взрывчатость пыли увеличивается [1,2]. Зола (A^{daf}) как негорючая часть угля снижает склонность пыли к участию во взрыве. Этот фактор обуславливает применение инертной пыли для предупреждения и локализации взрывов угольной пыли.

Влажность угля уменьшает степень взрываемости. Кроме этого влажность и смачиваемость угля способствуют адгезии – прилипанию частиц пыли к различным поверхностям и аутогезии – слипанию частиц между собой. Исследованиями МакНИИ установлено [10. 16], что при повышении влажности отложившейся угольной пыли до 12% и выше она не способна переходить во взвешенное состояние и участвовать во взрывах. Дисперсный состав влияет на взрываемость пыли следующим образом: чем мельче пыль, тем проще привести ее из отложившегося во взвешенное взрывоопасное состояние. Исследованиями МакНИИ и Главного института горного дела (Катовице, Польша) установлено существенное повышение взрывчатых свойств фракций до 15 мкм по сравнению с фракциями до 75 мкм [10]. В соответствии с действующими ПБ пылевзрывозащита угольных шахт включает в себя следующий комплекс мероприятий:

- определение взрывчатых свойств угольной пыли;
- определение интенсивности пылеотложения в горных выработках;
- выбор и осуществление взрывозащитных мероприятий по снижению пылеобразования и пылеотложения;

- выполнение мероприятий по предупреждению и локализации взрывов;
- контроль пылевзрывобезопасности горных выработок.

5.6. Пылевзрывозащита угольных шахт [2, 29, 35, 58, 59, 60-64]

Основное условие успешной борьбы со взрывами угольной пыли применение эффективных мер по снижению пылеобразования и запылённости воздуха в процессах добычи полезных ископаемых. На каждой опасной по пыли шахте осуществляется проект комплексного обеспыливания, в котором предусмотрены:

- мероприятия по борьбе с пылью при всех процессах, сопровождающихся пылеобразованием; водоснабжение шахты и разводка водопроводной сети по горным выработкам;
- расположение средств пылеподавления в горных выработках;
- обеспыливающее проветривание забоев шахты; оборудование и материалы для борьбы с пылью;
- индивидуальные средства защиты от пыли; мероприятия по борьбе с запылённостью воздуха, поступающего в шахту с поверхности.

Организуется противопоyleвая служба. Эти работы выполняются в режимах, регламентированных правилами безопасности.

Мероприятия по борьбе с отложением и накоплением взрывчатой пыли: смачивание и уборка отложившейся пыли около мест её образования, периодического очистка от пыли горных выработок, обмыв и побелка капитальных выработок.

Для предупреждения и локализации взрывов пыли применяются мероприятия с использованием инертной пыли (сланцевая пылевзрывозащита) и воды (гидропылевзрывозащита) применение предохранительных взрывчатых веществ и специальные оборудования при взрывании и др. [40, 47, 48, 53, 59-64].

При *сланцевой пылевзрывозащите* производится побелка и осланцевание выработок, для локализации взрывов пыли устанавливаются сланцевые заслоны.

При *гидропылевзрывозащите* применяется побелка выработок известковым раствором, обмывка выработок, связывание отложившейся угольной пыли смачивающе-связывающими составами. Для локализации взрывов пыли устанавливаются водяные заслоны.

Сланцевыми или водяными заслонами должны быть защищены:

- очистные выработки;
- забои подготовительных выработок, проводимых по углю или по углю и породе;
- крылья шахтного поля в каждом пласте (в штреках у бремсбергов, квершлагов и в других примыкающих к ним выработках);
- конвейерные выработки;
- пожарные участки (в примыкающих к ним выработках).

Сланцевые заслоны устанавливаются на расстоянии не менее 60 м и не более 300 м (водяные - не менее 75 м и не более 250 м) от забоев очистных и подготовительных выработок, сопряжений штреков с бремсбергами и квершлагами. В конвейерных выработках сланцевые заслоны устанавливаются на всем протяжении выработок на расстоянии не более 300 м друг от друга (водяные - не более 250 м).

Расчет параметров осланцевания выработок в угольных шахтах [2, 29, 35, 61, 62]

Периодичность осланцевания горных выработок (за исключением участков с интенсивным пылеотложением в откаточных выработках) определяется по формуле

$$T_n = k_m \sigma_{отл} / P_t, \quad (5.12)$$

где k_m - коэффициент, учитывающий влияние содержания метана в атмосфере выработки (табл.5.4);

$\sigma_{отл}$ - нижний предел взрываемости отложившейся угольной пыли, г/м³;

P_t - интенсивность пылеотложения, г/(м³ сут).

Таблица 5.4 – Значения коэффициента k_m

Содержание метана в выработке, %	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0
k_m	0,75	0,60	0,50	0,35	0,25

Периодичность выполнения работ по предупреждению взрывов пыли на участках с интенсивным пылеотложением (выработки второй группы) принимается по табл.5.5.

Таблица 5.5 – Периодичность выполнения работ по предупреждению взрывов пыли

Выработка (участок выработки)	Способ предупреждения взрыва	Периодичность выполнения работ
Погрузочные пункты лав, погрузочные пункты из скатов, углеспусков, а также участки откаточных штреков на протяжении 25 м в обе стороны от указанных мест	Обмывка или осланцевание Обмывка или осланцевание	Не реже одного раза в смену (Тп=0,33)
Участки откаточных штреков, уклонов и бремсбергов на протяжении 25 м от их сопряжений	Обмывка или осланцевание	Не реже одного раза в сутки
Подготовительные выработки, проводимые по углю или по углю и породе, на протяжении 50 м от их забоев	Зачистка почвы и обмывка (осланцевание)	Не реже одного раза в сутки
Конвейерные выработки: почва и элементы конструкции конвейера - бока и кровля в районе перегрузочных пунктов и на протяжении 25 м от них по направлению движения вентиляционной струи - бока и кровля на остальном протяжении	Обмывка или осланцевание Обмывка или осланцевание	Не реже одного раза в сутки Не реже одного раза в смену (Тп=0,33) Не реже одного раза в месяц

Расход инертной пыли ($q_{осл}$) на осланцевание одного погонного метра выработки (участка выработки) рассчитывается по формуле

$$q_{осл} = 0.01N \sigma_{отл} S / (100 - N), \quad (5.13)$$

где N - норма осланцевания, %;

S - площадь поперечного сечения выработки в свету, м².

Норма осланцевания определяется по фактическому содержанию негорючих веществ A_{ϕ} в пластовой пробе угля и добавке инертной пыли D по формуле

$$N = \{A_{\phi} (100 - D) / 100\} + D, \quad (5.14)$$

где A_{ϕ} - фактическое содержание негорючих веществ, %;
 D - добавка инертной пыли, % (для углей с выходом летучих веществ V^c более 15% определяется по номограмме рис.5.8).

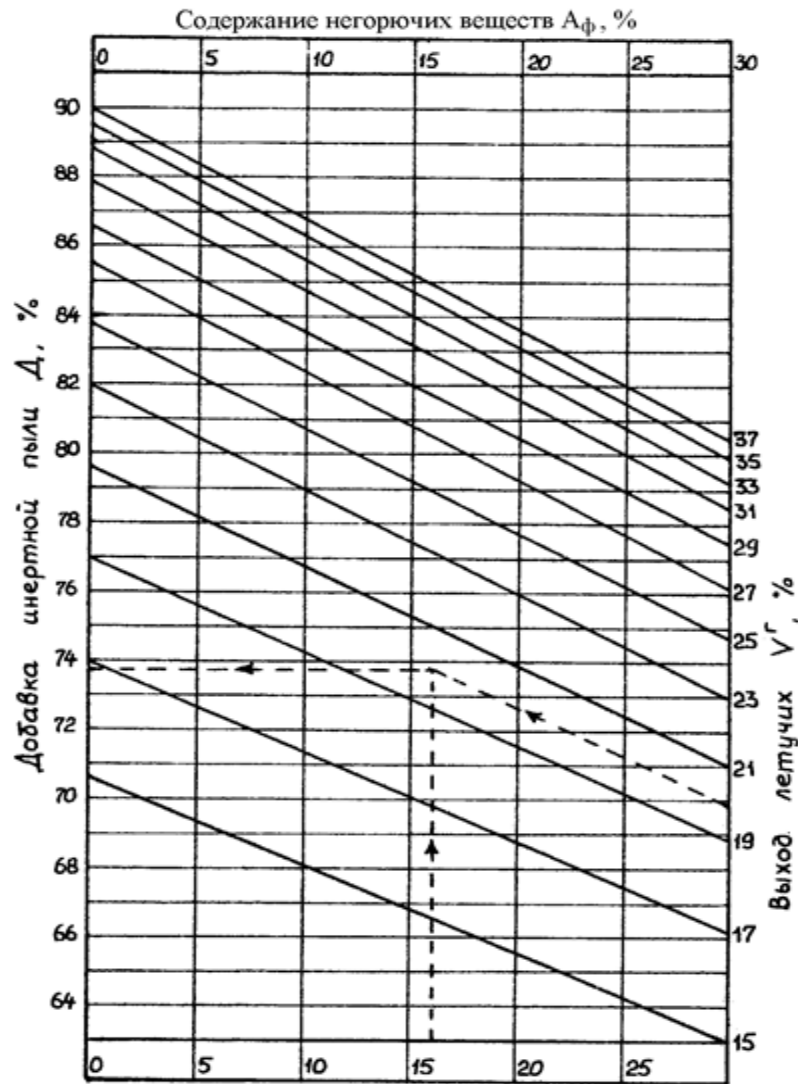


Рис.5.8. Номограмма для определения добавки инертной пыли

$$N = \{A^{daf} (100 - D) / 100\} + D, \quad (5.15)$$

где D — добавка инертной пыли, устанавливаемая периодическими лабораторными испытаниями или по номограмме [29. 35].

Годовая потребность в инертной пыли на осланцевание выработки определяется по формуле

$$Q = 365qL / T_n, \quad (5.16)$$

где L - длина выработки, м.

Полная годовая потребность шахты в инертной пыли определяется суммированием количества пыли, необходимого для обработки всех подлежащих осланцеванию горных выработок шахты, а также для загрузки всех установленных сланцевых заслонов с учетом периодичности ее замены.

Действующими Правилами безопасности [40] определяются нижний предел взрываемости (НПВ) σ_{lo} ($\text{г}/\text{м}^3$) интенсивность пылеотложения P_t в горных выработках ($\text{г}/\text{м}^3 \text{сут.}$), норма осланцевания N (%). Норма осланцевания определяется по формуле

$$N = \{A^{daf} (100 - D) / 100\} + D, \% \quad (5.17)$$

где D – добавка инертной пыли, устанавливаемая периодическими лабораторными испытаниями или по номограмме [29. 35];

A^{daf} – доля золы в угле, %.

Повышенные (рекомендуемые) нормы с учетом международного опыта составляют:

$q_{\text{осл}} = 20$ кг/м для пройденного в течение смены участка подготовительной выработки сечением до 16 м^2 ;

$q_{\text{осл}} = 40$ кг/м для пройденного в течение смены участка подготовительной выработки сечением $16\text{--}25 \text{ м}^2$;

$q_{\text{осл}} = 20$ кг/м для участка вентиляционного штрека длиной 50 м от сопряжения с лавой или $q_{\text{осл}}$ может быть рассчитан исходя из расхода 100 кг инертной пыли на каждые 1000 т добычи угля (табл. 5.3);

$q_{\text{осл}}$ на 50 - метровых участках конвейерных выработок (примыкающих к местам пересыпа угля) увеличивается в два-три раза по отношению к действующим нормам.

Периодичность работ по осланцеванию осуществляется на основе интенсивности пылеотложения. Рекомендуется [29, 35] определять величину P_t ($\text{г}/\text{м}^3 \text{сут.}$) по разности концентрации пыли в двух сечениях выработки: C_1 и C_2 (ориентировочно в 10 и 50 м от источника пылеобразования).

Пример.

Расчет расхода инертной пыли в подготовительном забое (по действующим и рекомендуемым повышенным нормам)

Определить повышенный расход инертной пыли для осланцевания подготовительной выработки.

Величины *расхода инертной пыли* для шахт находятся в пределах 2,16–3,19 кг/м. Повышенные удельный расход сланцевой пыли на один метр выработки выбираются с учётом поперечных сечений выработок и принимаются в размере $q^{нг}_{осл} = 20–40$ кг/м. Рекомендуемый (повышенный) суточный расход инертной пыли $Q^{пв}_{осл}$ (кг) составит

$$Q^{нг}_{осл} = q^{нг}_{осл} \cdot L,$$

где $q^{нг}_{осл}$ – повышенная норма осланцевания, кг/м;

L – суточное подвигание подготовительного забоя, м;

Пример расчета годового расхода инертной пыли $Q^{гш}_{осл}$ (кг) для 50-метрового участка вентиляционного штрека, примыкающего к лаве и для каждой выработки определяются по формул

$$Q_{осл} = 10^{-1} \cdot q \cdot L / (365 / T_n), *$$

где L — длина выработки, м.

*При эксплуатации выработки менее 365 дней указывается число дней эксплуатации.

Для практического применения используется способ определения массы пыли, отложившейся на подложки (P_t). Подложки (2–4 шт.) имеют суммарную площадь $S_{подл}$, составляющую 0,1–0,01% от площади пылеотложения в выработке. Интенсивность пылеотложения (г/м³ сут.) на подложки за время измерений (t_i) распространяется на часть выработки длиной 30–50 м:

$$P_t = 4,34 (b \cdot M) / \sum_{i=1}^n S_{подл. i} * t_i,$$

где b – ширина выработки по почве, м;

M – масса пыли на подложках, г;

Расчеты по этим формулам принимаются для 50-метрового участка вентиляционного штрека, примыкающего к лаве. Для расчетов на последующие 150 м [32, 33, 61, 62] принимается величина в 3,5 раза меньше.

Исходя из массы пылеотложения P_t определяется T_n — периодичность побелки, осланцевания, обмывки и других работ по обеспечению пылевзрывобезопасного состояния. В международной практике наиболее распространенным способом является осланцевание, для которого T_n (сут) рассчитывается по формуле

$$T_n = K_{сн4} \cdot \sigma_{отл} / P_t .$$

где $K_{сн4}$ – коэффициент, учитывающий содержание метана в выработке, для предусмотренных [65,66] концентраций 0,5; 0,75 и 1,0%, равный 0,75; 0,60 и 0,50 соответственно.

В формуле отсутствует коэффициент защитного действия, равный 1 для работ по осланцеванию.

Полная годовая потребность шахты в инертной пыли определяется суммированием количества пыли, необходимой для обработки всех подлежащих осланцеванию горных выработок шахты, а также для загрузки всех установленных сланцевых заслонов с учетом периодичности замены.

Во всех приведенных способах не учитывается факт непрерывного перемещения источника пылевыделения (комбайн в лаве или в подготовисточников пылеобразования (6–20 м/мин для очистных комбайнов) приводит к тому, что дисперсный состав осаждаемой на неподвижные подложки пыли изменяется. Получение достоверных функций пылеосаждения по длине выработки является затруднительным, требует планирования процесса получения представительных проб.

На шахтах рекомендуется применение повышенных норм осланцевания для обеспечения гарантированных показателей пылевзрывобезопасности.

Борьба с пылью в очистных выработках [1, 2, 29, 35, 39]

Для предотвращения распространения пыли в очистных забоях на пологих пластах применяют:

- взрывозащитное орошение исполнительных органов выемочных комбайнов с подачей жидкости на след резания каждого резца;
- орошение в зоне разрушения и выгрузки угля (внешнее орошение);
- орошение при передвижке механизированных крепей;

- обеспыливание исходящих из забоев вентиляционных потоков с помощью лабиринтно-тканевых, туманообразующих или водяных завес.

На выемочной машине применяются средства пылеподавления в комплектации завода-изготовителя, монтаж и наладка которых выполняются в соответствии с руководством по эксплуатации машин. Эксплуатация выемочных машин осуществляется при работающих средствах пылеподавления и системе взрывозащитного орошения, с параметрами, соответствующими требованиям технической документации. Изменение параметров систем орошения выемочных комбайнов допускается по заключению НИИ или аккредитованными лабораториями.

Система взрывозащитного орошения обеспечивает подачу воды на след резания каждого резца. Параметры взрывозащитного орошения исполнительных органов выемочных комбайнов устанавливаются в зависимости от степени фрикционной опасности горных пород. Минимальное давление внешнего орошения не менее 1,5 МПа.

Применение систем пневмогидроорошения осуществляется с установленными заводом-изготовителем параметрами на основании заключения НИИ и Разрешения Горгостехнадзора ДНР. Расчет расхода жидкости и смачивателя производится по максимальному коэффициенту машинного времени работы комбайна.

При подготовке выемочной машины к эксплуатации, а также после выполнения ремонтных работ, при которых производилось рассоединение отдельных узлов оросительного устройства, проверяется герметичность соединений трубопроводов разводки жидкости, а перед установкой оросителей все каналы для подачи жидкости в оросительном устройстве промываются водой или продуваются сжатым воздухом.

К оросительному устройству выемочной машины жидкость подается с помощью забойного трубопровода, тип которого указан в руководстве по эксплуатации машины, или напорных рукавов, рассчитанных на рабочее давление не менее 3,0 МПа, и соединительной арматуры заводского изготовления.

Борьба с пылью при работе очистных комбайнов на пологих и крутых пластах при выемке угля с присечкой пород кровли [1, 2, 29]

В механизированных очистных забоях пологих и крутых пластов пылеподавление при выемки угля осуществляется с использованием средств орошения, которыми оснащаются выемочные машины (комбайны), механизированные крепи, струговые установки, фронтальные и щитовые агрегаты.

Основным способом пылеподавления при указанных производственных процессах является орошение со следующими параметрами (табл. 5.6).

При работе выемочной машины на пластах с высокой категорией производственных процессов по пылевому фактору может применяться также отсос и улавливание пыли, если это предусмотрено технической документацией на машину.

В механизированных очистных забоях крутых пластов при прямоточной схеме проветривания применяется оросительная система с насосной установкой с пневмоприводом. При наличии подсыхания исходящей струи могут применяться насосная установка и подборщик забойного трубопровода (трубопроводов) с электроприводом, располагаемые на свежей струе.

В забоях с применением электроэнергии насосная установка с электроприводом располагается на откаточном (конвейерном) штреке.

В очистных забоях тонких крутых пластов при запыленности воздуха более 500 мг/м³ и в случае необходимости ограничения расхода воды на орошение применяется пылеподавление пеной.

На рисунке 5.9 приведены технологические схемы пылеподавления орошением при выемке пологих пластов механизированным комплексом и струговой выемке.

При комбайновой выемке пылеподавление пеной рекомендуется применять на пластах мощностью до 0,9 м и скорости воздуха в забое при восходящем проветривании не более 2 м/с.

Таблица 5.6 – Параметры орошения при основных производственных процессах в очистных выработках

Способы пылеподавления	Условия применения		Давление жидкости, МПа	Удельный расход жидкости	
				Единицы измерения	Значения
1	2	3	4	5	6
Орошение при выемке комбайнами	Пологие пласты	весьма тонкие	не менее 1, 2	л/т	5-20
		тонкие	то же	л/т	25-35
		средней мощности	-	л/т	30-40
	Крутые пласты	все	-	л/т	20-30

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4	5	6
Орошение при выемке угля стругачами, агрегатами	Пологие пласты	-	не менее 0,5	л/т	25-35
	Крутые пласты	-	0,5-0,8	л/т	20-30
Орошение при подрубке пласта врубмашинами	Пологие пласты	-	не менее 1, 2	л/м вруба	не менее 30
Орошение при передвижке секций крепи	Пологие пласты	-	1,5-1,6	л/мин.	20 -80
	Крутые пласты	-	Не менее 5,0 м	л/мин.	15 - 20
Орошение на погрузочных пунктах	-	-	0,5- 1,2	л/т	5,0
Орошение при ручной погрузке угля в ниша	-	-	до 0,5	л/мЗорной массы	Не менее 50

При щитовой выемке применение пылеподавления пеной рекомендуется в забоях при восходящей схеме проветривания со скоростью движения воздуха до 3,5 м/с.

При подготовке ниш предусматриваются средства пылеподавления как при выемке угля, так и при погрузке горной массы. При буровзрывном способе выемки угля осуществляется бурение шпуров с промывкой; орошение отложившейся пыли на поверхности на расстоянии до 20 м от взрывааемых зарядов или взрывание зарядов с водой с удельным расходом 1,5-2,0 л/м², применение водораспылительных завес и гидрозабойка шпуров.

В забоях с пневмоэнергией оросительная установка с пневмоприводом располагается на вентиляционном горизонте (рис. 5.10).

При нисходящем проветривании комбайновых и щитовых забоев и в потолкоуступных забоях с молотковой выемкой ограничение по скорости воздуха не устанавливается. Пеногенераторы устанавливаются в комбайновой лаве в верхней части лавы под вентиляционным штреком, в щитовых лавах вдоль конвейероструга из зоны выгрузки угля в углеспускную печь, в потол-

коуступных забоях в 4-5-омверхних уступах по одному в каждом уступе (рис. 5.11).

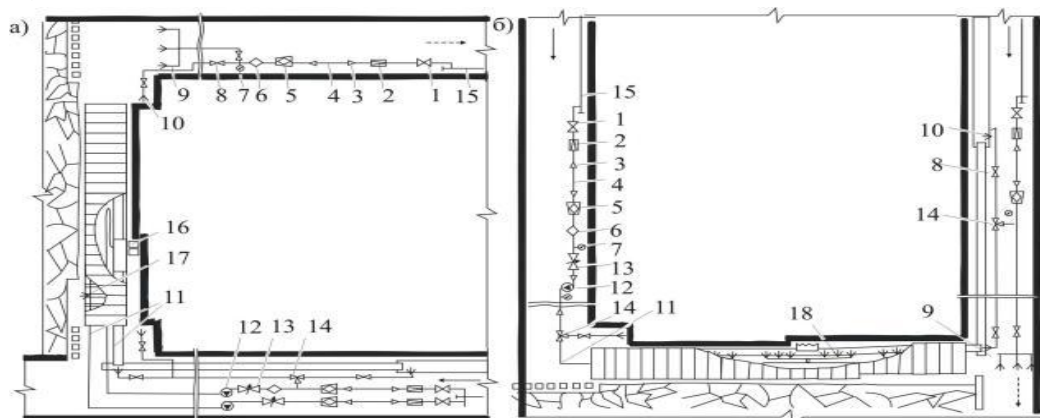


Рис. 5.9 – Технологические схемы пылеподавления орошением: а - при выемке пологих пластов механизированным комплексом; б - при струговой выемке

1 - вентиль фланцевый; 2 - клапанредукционный; 3 - переходник; 4 - рукав напорный; 5 - фильтр штрековый; 6 - дозатор смачивателя; 7 - манометр; 8 - кран проходной муфтовый; 9 - водяная завеса; 10 - форсунка; 11 - водопровод забойный; 12 - насосная установка; 13 - вентиль электромагнитный; 14 - кран трехходовой муфтовый; 15 - штрековый трубопровод; 16 и 17 - оросительные системы комбайна и крепи; 18 – автоматическое секционное орошение.

Давление подаваемой в дозатор пеногенератора воды должно составлять 0,4-0,8МПа, а удельный расход жидкости через дозатор должен быть 15-25л/т.

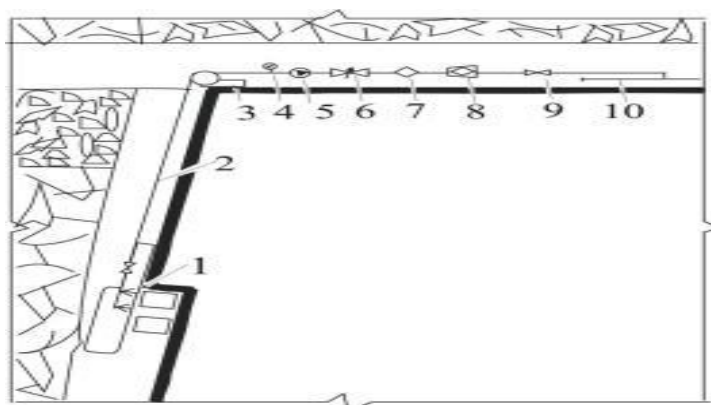


Рис. 5.10 – Технологическая схема орошения при комбайновой выемке крутых пластов

1 - оросительные устройства комбайна; 2 - забойный водопровод; 3 - шлангоподборщик; 4 – манометр; 5 - насосная установка; 6 - вентиль управляемый; 7 - дозатор смачивателя; 8 - фильтр штрековый; 9 - вентиль; 10 - штрековый трубопровод

При молотковой выемке предусматривается применение отбойных молотков со встроенным оросительным устройством или орошение поверхности забоя в зоне разрушения угля. Независимо от способа выемки угля предусматривается орошение отбитого угля перед погрузкой.

При выемке антрацита, а также при выемке угля с присечкой пород кровли, если комбайн работает по челноковой схеме, забой должен проветриваться с оптимальной по пылевому фактору скоростью движения воздуха - 1,5...3,0 м/с. Удельный расход воды на орошение при работе выемочного комбайна приведен в табл. 5.7 [2].

При влажности угля в массиве более 8% удельный расход воды принимается равным 10-15 л/т.

Давление воды у оросителей должно быть не менее 1,2 МПа. При применении специальных способов орошения (высоконапорного, взрывозащитного, пневмогидроорошения) давление воды принимается в соответствии с руководством по эксплуатации комбайна, оборудованного соответствующей системой орошения. При орошении на врубовой машине вода должна подаваться в зарубную щель.

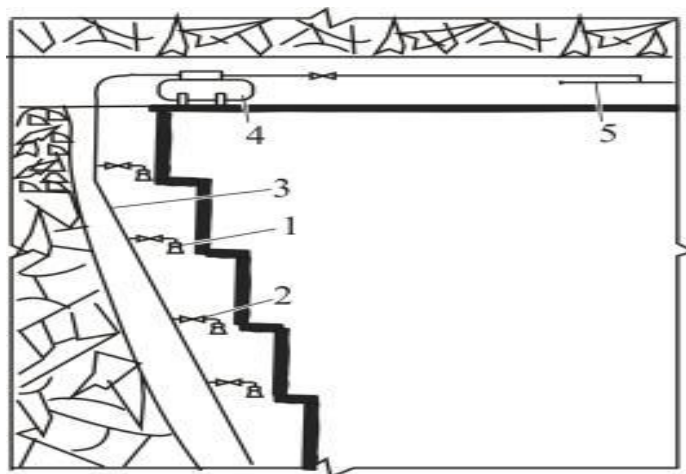


Рис.5.11 – Технологическая схема применения пены при молотковой выемке угля на крутых пластах:

1 - пеногенератор; 2 – вентиль; 3 – забойный водопровод; 4 – дозатор смачивателя; 5 - штрековый трубопровод.

Таблица 5.7 – Удельный расход воды на орошение при работе
выемочного комбайна

Мощность пласта, м	Удельный расход воды (л/т) для марок углей							
	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	ПА	А
до 0,7	15	15	20	20	20	20	20	20
0,71 – 1,30	20	20	20	20	25	30	20	25
Более 1,30	20	20	25	30	30	40	20	25

С целью снижения пылеобразования при эксплуатации механизированных крепей необходимо:

- поддерживать в исправном состоянии щиты перекрытий и ограждение со стороны выработанного пространства;
- производить передвижку секций крепи поддерживающего типа без потери контакта с кровлей.

При передвижке секций должны применяться средства пылеподавления, предусмотренные конструкцией крепи в соответствии с руководством по эксплуатации крепи.

При пневматической закладке обеспечивается: увлажнение закладочного материала; герметичность закладочных трубопроводов; периодическая обмывка поверхности выработки в местах осаждения пыли; скорость движения воздуха в зоне закладки не более 2 м/с.

Для снижения пылеобразования при проведении закладки бутовых полос в лавах крутых пластов производится увлажнение породной массы водой или раствором смачивателя перед погрузкой её в вагонетки.

Механизированные крепи комплектуются средствами орошения по заявкам шахт, если это необходимо в связи с повышенным уровнем запыленности. При этом подача воды к оросительным устройствам выемочной машины и механизированной крепи должна осуществляться по отдельным трубопроводам с независимым включением оросительных насосов.

Для снижения пылеобразования при работе выемочной машины необходимо обеспечивать:

- исключить подрубку кровли или почвы пласта режущими органами выемочной машины;
- понизить скорость резания, если это предусмотрено конструкцией выемочной машины.

На выемочной машине должны применяться средства пылеподавления, которыми она комплектуется на заводе-изготовителе или рудоремонтном заводе. Монтаж и наладка должны быть выполнены в соответствии с руководством по эксплуатации машины.

При подготовке выемочной машины к эксплуатации, а также после выполнения ремонтных работ, при которых производилось рассоединение отдельных узлов оросительного устройства, должна быть проверена герметичность соединений трубопроводов разводки воды, а перед установкой оросителей все каналы для подачи воды в оросительном устройстве должны быть тщательно промыты водой или продуты сжатым воздухом.

К оросительному устройству выемочной машины вода должна подаваться с помощью специального забойного водопровода, тип которого указан в руководстве по эксплуатации машины. Допускается применение водопроводов, изготовленных на шахте. Для таких водопроводов должны применяться напорные рукава на рабочее давление не менее 3,0 МПа и соединительная арматура заводского изготовления.

Забойный водопровод в сборке должен быть проверен в шахте при полуторократном рабочем давлении в течение 5 минут, обнаруженные неисправности устранены.

После монтажа забойного водопровода в лаве или замены отдельных секций его необходимо отсоединить от оросительного устройства и промыть.

При подготовке ниш предусматриваются средства пылеподавления как при выемке угля, так и при погрузке горной массы. При буровзрывном способе выемки угля осуществляется бурение шпуров с промывкой; орошение отложившейся пыли на поверхности на расстоянии до 20 м от взрывааемых зарядов или взрывание зарядов с водой с удельным расходом 1,5 – 2,0 л/м², применение водораспылительных завес и гидрозабойка шпуров. При молотковой выемке предусматривается применение отбойных молотков со встроенным оросительным устройством или орошение поверхности забоя в зоне разрушения угля. Независимо от способа выемки угля предусматривается орошение отбитого угля перед погрузкой.

При выемке угля в нишах необходимо

- воду для подавления пыли подавать в нишу со штрека по отдельному гибкому водопроводу;

- при взрывных работах производить орошение (обмывку) отложившейся на поверхности выработок пыли перед взрыванием зарядов ВВ в

шпурах, применять гидрозабойку шпуров и водораспылительные завесы;

- производить орошение горной массы перед погрузкой с расходом воды 20-30 л/т, для улучшения пылеподавления рекомендуется добавлять к воде смачиватель.

При использовании нишенарезной машины последняя должна работать с системой пылеподавления, предусмотренной заводом изготовителем. Оборудование, необходимое для подачи воды к оросительным устройствам в очистной выработке:

- оросительный насос, если давление воды в пожарно-оросительном водопроводе недостаточно для обеспечения требуемых параметров орошения на выемочной машине;

- штрековый фильтр для очистки воды от механических взвесей;
- вентили с дистанционным управлением, если для подачи воды не используется оросительный насос;

- устройства контроля расхода и давления воды.

Включение оросительного насоса и вентиля должно быть заблокировано с включением выемочной машины. Оросительный насос системы пылеподавления механизированной крепи должен иметь независимое включение.

На забойных водопроводах в штреке у оросительного насоса или управляемого вентиля должны быть установлены манометры и таблички с надписями, обозначающими место подачи воды, например "комбайн", "ниша" и т.д.

Осмотр системы орошения и чистку оросителей от засорения необходимо производить не реже одного раза в смену, а на тонких пластах - перед началом выемки новой стружки.

На пластах, опасных по фрикционному искрообразованию*, должно применяться взрывозащитное орошение (по мере разработки оборудования).

Запрещается:

- работать без комбайнового и штрекового фильтров;
- отключать или шунтировать устройства контроля давления и расхода жидкости в системе орошения;

- регулировать производительность центробежных оросительных насосов путем сброса части воды со стороны высокого давления.

Борьба с пылью при работе стругов и агрегатов на пологих пластах [1, 2, 29]

При струговой выемке угля применяется:

- секционное орошение (или пену) с автоматическим включением жидкости;
- орошение (или пену) на погрузочном пункте;
- изоляцию струговой дороги с помощью устройств экранирования для негазовых шахт и шахт 1 категории*;
- орошение на погрузочном пункте;
- обеспыливание исходящих из забоев вентиляционных потоков с помощью лабиринтно-тканевых, туманообразующих или водяных завес. устанавливаемых на входе в лаву и выходе из лавы, и орошение угля при выгрузке его из лавы.

Давление жидкости на оросителях составляет не менее 1,5 МПа при удельном расходе 20-30 л/т.

Секционное орошение необходимо применять при технологии работ, допускающей присутствие людей в лаве. Такое орошение должно иметь программное управление, обеспечивающее поочередное кратковременное включение секций орошения по всей длине лавы.

Для борьбы с пылью в выработках с фронтальными агрегатами должно применяться гидрообеспыливание, обеспечивающее орошение поверхности разрушаемого забоя диспергированной водой, увлажнение транспортируемого угля и очистку от пыли воздуха, поступающего на вентиляционный штрек. С этой целью оросители должны быть расположены по длине става агрегата и направлены в сторону движения воздуха под углом 35 градусов к поверхности забоя. Орошение при удельном расходе воды 20-30 л/т осуществляется в двух вариантах: низконапорное орошение (давление 1,2 МПа) с шагом установки оросителей 12-14 м или высоконапорное орошение (давление 10-12 МПа) с шагом установки насадок 24-28 м.

Борьба с пылью в очистных выработках тонких крутых пластов [1, 2, 29]

Для борьбы с пылью при выемке угля на тонких крутых пластах должны применяться:

- предварительное увлажнение угольного массива;
- орошение на выемочных машинах и механизмах;
- очистка от пыли исходящих из лав потоков.

При применении механизированных комплексов должны осуществляться меры по борьбе с пылью при передвижке секций крепи с помощью технических средств, которыми крепь комплектуется на заводе-изготовителе. При комбайновой выемке необходимо обеспечить механизированную выборку забойного водопровода.

Для очистки от пыли исходящих из лав воздушных потоков должны применяться пылеулавливающие установки (по мере разработки оборудования) по проектам, согласованным с МакНИИ.

Установка должна размещаться в подготовительной выработке и соединяться с лавой всасывающим трубопроводом, заведенным в лаву на длину, равную 4-5 диаметров его входного отверстия.

Производительность установки должна обеспечивать кратность отсоса не менее 0,8 для лав с восходящим проветриванием и не менее 1,5 для лав с нисходящим проветриванием.

При размещении пылеулавливающей установки вблизи лавы выброс очищенного воздуха должен производиться за зоной сопряжения лавы со штреком. При этом очищенный воздух при отсутствии подсвежения исходящей струи должен быть отведен в сторону тупиковой части штрека, а при наличии подсвежения - в сторону движения исходящей струи.

Борьба с пылью при выемке мощных крутых пластов

[1, 2, 29]

При ведении очистных работ на мощных крутых пластах необходимо применять обеспыливающее проветривание, увлажнение угля в массиве, орошение при отбойке угля и очистку от пыли воздуха, исходящего из очистных забоев.

При ведении очистных работ буровзрывным способом под щитовым или гибким перекрытиями необходимо производить орошение обнаженной поверхности перед бурением шпуров, отбойкой угля, а также орошение подщитового пространства после взрывных работ.

Орошение должно производиться за 3-5 мин. перед взрыванием. Продолжительность орошения подщитового пространства после взрывных работ рассчитывается по формуле:

$$T = Aq / Q, \quad (5.18)$$

где: T – продолжительность орошения взорванной горной массы, мин;

A – объем отбитого угля, м³ ;
 q – удельный расход воды на увлажнение 1 м³ отбитого угля, л/м³;
 Q – суммарная производительность оросителей, л/мин.

Удельный расход воды на увлажнение должен составлять 20-30 л/м³ . Давление воды у пылеподавителей и оросителей должно быть не менее 1,2 МПа. При работе выемочных агрегатов и механизированных комплексов орошение должно осуществляться с помощью оросителей, расположенных по всей длине очистной выработки через 8-10 м. Расход воды на пылеподавление должен составлять 20-30 л/т, в том числе на орошение забоя - 50%; на орошение при падении угля на перегружатель (конвейер) - 20% и на водяные завесы - 30%.

Борьба с пылевыделением при эксплуатации механизированных крепей

[1, 2, 29]

Орошение источников пылеобразования является одним из наиболее эффективных способов борьбы с угольной и породной пылью. Определяющее влияние на эффективность орошения оказывают гидрофильность (способность к смачиванию) и дисперсность пыли, размер капель жидкости, их число в факеле орошения, образующегося при истечении жидкости из распыляющей форсунки под давлением, и скорость встречи капель с частицами пыли. Эффективность орошения повышается при применении поверхностно-активных веществ, обеспечении требуемых скоростей встречи капель с частицами пыли и строгом соблюдении параметров работы оросительных устройств. Наибольший эффект достигается при использовании высоконапорного орошения с давлением жидкости 10—12 МПа и полном перекрытии источников пылеобразования.

Если к забою подведены коммуникации сжатого воздуха, то применяют пневмогидроорошение, заключающееся в том, что смачивающую жидкость с помощью сжатого воздуха диспергируют при вылете из форсунки на очень мелкие частицы. В результате обеспечивается высокая плотность капель в факеле водяной струи и повышается коэффициент захвата частиц пыли. Во избежание сноса тонкодиспергированного облака жидкости воздушным потоком факел орошения должен быть направлен на источник пылеобразования. Пневмогидроорошение обеспечивает максимальную эффек-

тивность пылеподавления (90 – 98%) при давлении воды перед форсункой 0,2 МПа, сжатого воздуха 0,5 – 0,6 МПа.

В системах орошения в шахтах применяются оросительные устройства различного вида: конусные, плоскоструйные и зонтичные форсунки, туманообразователи, насадки и др.

Если при передвижке механизированных крепей поддерживающего типа образуется большое количество породной пыли, то применяют систему орошения, показанную на рис. 5.12, а. Воду подают по забойному трубопроводу и через форсунки, расположенные вдоль межсекционных зазоров, распыляют в сторону выработанного пространства. Расход воды на орошение составляет 10 л/мин.

Крепи оградительно-поддерживающего типа также имеют оросительные устройства (рис. 12, б). Расход воды в такой системе пылеподавления равен 35 л/мин при давлении 1 – 1,5 МПа.

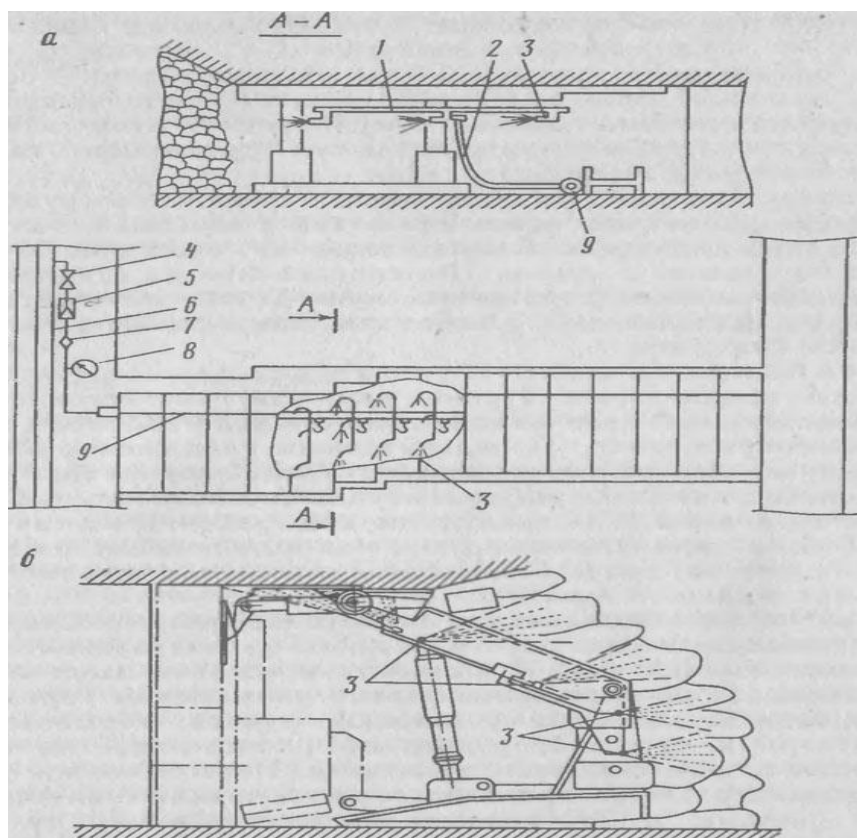


Рис. 5.12. Схемы орошения при интенсивном пылеобразовании в процессе передвижки крепи поддерживающего (а) и оградительно-поддерживающего (б) типа:

1 — оросительное устройство; 2 — гибкий водяной шланг; 3 — форсунки; 4 — вентиль; 5 — редукционный клапан; 6 — противопожарный трубопровод; 7 — фильтр; 8 — манометр; 9 — забойный трубопровод

В очистных забоях, оборудованных механизированными комплексами, орошение производят как при выемке угля, так и при его доставке. Отбитый уголь орошают с помощью форсунок, смонтированных на крепи. В уступных забоях крутых пластов применяют отбойные молотки с оросителями, которые включаются автоматически одновременно с включением отбойного молотка.

Для снижения пылевыделения при эксплуатации механизированных крепей выполняются следующие мероприятия:

- поддержка в исправном состоянии щитов перекрытий и ограждения со стороны выработанного пространства;
- передвижка секций крепи поддерживающего типа без потери контакта с кровлей.

Вновь разрабатываемые механизированные крепи предусматривают:

- устройства для уплотнения межсекционных зазоров;
- устройства, предохраняющие от просыпания в призабойное пространство штыба, лежащего на перекрытии и ограждении;
- исключение просыпания штыба в призабойное пространство;
- оросительные устройства с автоматическим включением и выключением жидкости.

На механизированных крепях поддерживающего типа, передвигаемых без постоянного контакта с кровлей пласта, устанавливаются устройства для орошения породной мелочи, находящейся на перекрытии, а также выработанного пространства при опускании перекрытий секций крепи (рис. 5.12, а)

Параметры систем орошения секций крепи и орошения выработанного пространства устанавливаются по результатам экспертного заключения о способности угольного штыба и пыли к самовозгоранию.

При передвижке механизированных секций крепи горнорабочий очистного забоя находится на свежей струе воздуха или применяет противопылевой респиратор.

Обеспыливание воздуха исходящего из очистной выработки

[29, 33, 35]

Снижение запыленности воздуха до ПДК, дополнительно проводится в вентиляционных и конвейерных штреках при следующих производственных процессах:

- при выемке угля;

- на погрузочном пункте лавы;
- при выемке и погрузке угля в нишах, печах и просеках;
- при пневматической закладке выработанного пространства и закладке бутовых полос.

Снижение запыленности воздуха осуществляется при помощи водяных завес (рис. 5.13), туманообразующих водяных завес (рис. 5.14) и лабиринтно-тканевых завес (рис. 5.15 а, б).

Расход жидкости для водяной завесы принимается равным $0,1 \text{ л/м}^3$ проходящего воздуха при давлении не менее $1,0 \text{ МПа}$, для туманообразующей и лабиринтно-тканевой завес – $0,05 \text{ л/м}^3$ проходящего воздуха при давлении не менее $1,0 \text{ МПа}$.

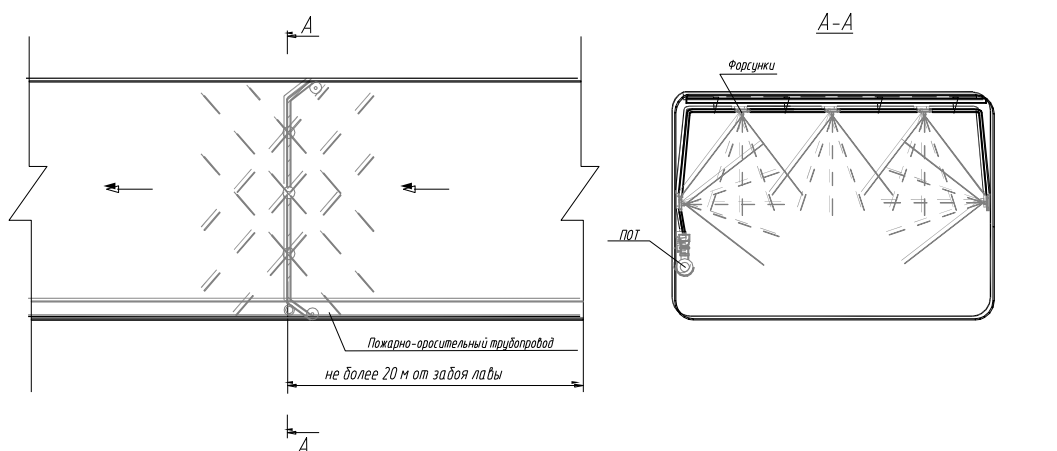


Рис. 5.13 – Схема установки водяной завесы

В зависимости от запыленности исходящей из очистных забоев вентиляционной струи могут применяться однорядные и многорядные туманообразующие водяные завесы [Инструкция] (рис. 5.14) [33, 38].

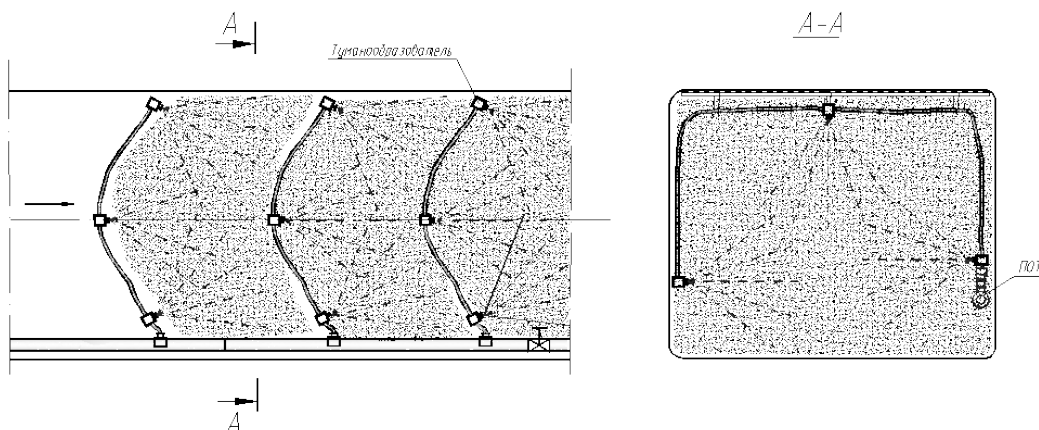


Рис. 5.14 – Схема установки туманообразующей завесы

При превышении ПДК запыленности воздуха в вентиляционной струе на выходе из лав, гезенков и скатов для обеспыливания исходящей струи применяются рассредоточенные туманообразующие завесы.

Обеспыливание вентиляционного потока воздуха производится с помощью туманообразующей завесы, устанавливаемой в 20 м от забоя и включаемой периодически (в период наибольшего пылеобразования, т.е. при обработке комбайном средней и верхней частей забоя). Завеса подключается противопожарно-оросительному трубопроводу и трубопроводу сжатого воздуха через отдельные краны.

Более эффективными являются туманообразующие завесы, создаваемые туманообразователями типа ОП-1 или ТЗ-1В. Диаметр капель образующегося тумана в них не превышает 10-50 мк поэтому распыленная вода длительное время удерживается в воздухе. Для образования водяного тумана в туманообразователи подводятся вода и сжатый воздух. При подаче сжатого воздуха и перемещения золотника вода и сжатый воздух поступают в смесительную камеру, в которой образуется водовоздушная смесь. Распыление последней происходит через кольцевую щель, при помощи которой регулируется степень дисперсности водяного тумана.

Количество туманообразователей в первой завесе определяется из расчета один туманообразователь на каждые 100 м³/мин.

Расположение туманообразователей в первой завесе определяется в следующем порядке: при скорости свыше 2 м/с факелы туманообразователей направляются навстречу потоку проходящего воздуха; при скорости 2 м/с и менее – по направлению движения вентиляционной струи. Факелы туманообразователей второй и последующих завес направляются в сторону движения вентиляционной струи.

Расстояние между завесами подбирается в зависимости от скорости движения воздуха в выработке: до 1 м/с – 80 м, до 2 м/с – 60 м, до 3 м/с – 35 м и свыше 3 м/с – 25 м.

Расход жидкости для водяной завесы составляет не менее 0,1 л/м³ проходящего воздуха при давлении не менее 1,0 МПа, для туманообразующей и лабиринтно-тканевой завес – не менее 0,05 л/м³ проходящего воздуха при давлении не менее 1,0 МПа.

Лабиринтно-тканевые завесы выполняются из мешковины. Минимальное число тканевых перегородок, устанавливаемых в шахматном порядке на расстоянии 1,0 м друг от друга – 4 шт. Схема установки лабиринтно-тканевой завесы приведена на (рис. 5.14 а, б) [33, 35].

Лабиринтно-тканевые завесы применяются для обеспыливания вентиляционной струи из очистных и подготовительных забоев. Факелы

распыленной жидкости оросителей водяных или водовоздушных завес перекрывают сечение выработки. На каждые 500 м³/мин проходящего воздуха устанавливается по одной завесе. В случае установки нескольких завес расстояние между ними составляет 3-5 м.

Расход воды на обеспыливание воздуха с помощью туманообразующих завес определяется:

$$Q = Q_{з.н.} * T_{з.н.} \quad (5.19)$$

где $Q_{з.н.}$ – расход воды завесой, л/мин,

$T_{з.н.}$ – продолжительность работы туманообразующей завесы, мин/сут

$$Q_{з.н.} = q * Q_{зп}, \quad (5.20)$$

где q - удельный расход воды при работе туманообразующей завесы в подготовительной выработке, $q = 0.05$ л/м³;

$Q_{зп}$ - количество воздуха, проходящее через подготовительную выработку и туманообразующую завесу, м³/мин;

Пример.

Рассчитать количество воды, расходуемое туманообразующей завесой за смену в подготовительной выработке, если известно, что туманообразующая завеса работает 5 час., за сутки – 15 час количество воздуха, проходящее через подготовительную выработку и туманообразующую завесу $Q_{з.н.} = 375$ м³/мин; удельный расход воды при работе туманообразующей завесы в подготовительной выработке $q = 0.05$ л/м³.

1. Определяем расход воды на орошение в минуту:

$$Q_{з.н.} = q * Q_{з.н.} = 0,05 * 375 = 18,75 \text{ л/мин.}$$

2. Определяем расход воды за сутки (15 час):

$$Q = 18,75 * 60 * 15 = 16875 \text{ л/сут} = 16,8 \text{ м}^3/\text{сут}$$

3. Определяем число форсунок, необходимое для комплекта туманообразующей завесы. Производительность одной форсунки $Q_{ф} = 7,6$ л/мин.:

$$N = Q_{з.}/Q_{ф.} = 18,75 \text{ л/мин} / 7,6 \text{ л/мин} = 2,5 \text{ шт}$$

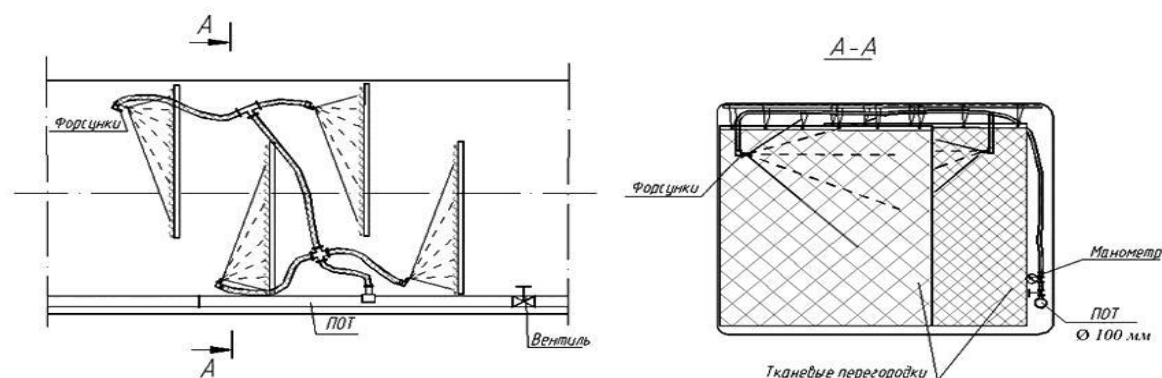
где $Q_{з.}$ – расход воды завесой, л/мин,

$Q_{ф.}$ – расход воды на одну форсунку ОК-1 при давлении 12 кгс/см², л/мин,

Для комплекта туманообразующей завесы потребуется 3 форсунки типа ОК-1.

На выходе обработанной вентиляционной струи воздуха из вентиляционного штрека устанавливается лабиринтно-тканевая завеса ЛТЗ-4п (рис.5.15, а, б).

а)



б)

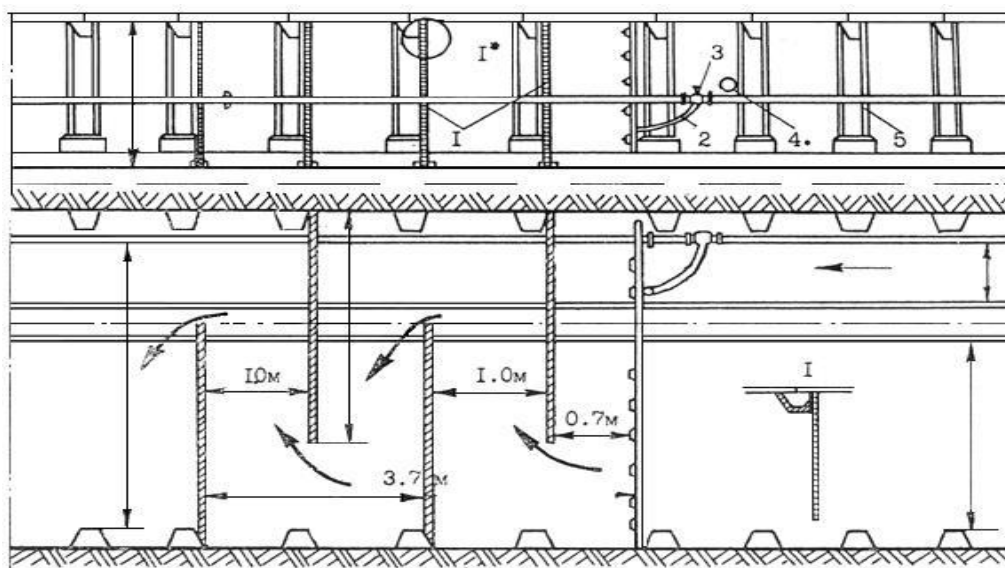


Рис. 5.15. (а, б) – Схема установки лабиринтно-тканевая завеса:

а) ЛТЗ; б) ЛТЗ- 4п.

1 - ткань; 2 - ороситель; 3 - кран; 4 - манометр; 5 - противопожарно-оросительный трубопровод; I - узел крепления ткани

Борьба с пылью при буровзрывной выемке угля

[35. 40, 59-64]

При буровзрывной выемке угля должно осуществляться предварительное увлажнение угольных пластов, бурение шпуров с промывкой водой, орошение или связывание отложившейся пыли на поверхности выработок перед взрыванием зарядов ВВ в шпурах и орошение при погрузке отбитой горной массы.

В забоях с буровзрывной выемкой угля при бурении шпуров выполняют промывку или орошение устья шпура, связывание или смывание пыли перед взрыванием зарядов ВВ, орошение при погрузке отбитой горной массы, устанавливают водяные завесы при взрывании.

При выемке угля в нишах:

- увлажняется отбитая горная масса;

-при взрывных работах орошают (обмывают) отложившуюся на поверхности выработок пыль перед взрыванием зарядов ВВ в шпурах, применяют гидрозабойку шпуров и водяные завесы.

При буровзрывной выемке угля орошение или связывание отложившейся пыли производится в соответствии с требованиями Правил безопасности при взрывных работах.

Орошение или связывание отложившейся пыли на поверхности выработок необходимо производить на расстоянии до 20 м от взрывааемых зарядов не более чем за 20-30 мин. до взрывания шпуров. Удельный расход воды должен составлять 1,5-2 л/м² поверхности выработок.

В качестве дополнительных мер, обеспечивающих безопасность взрывных работ должны применяться водораспылительные завесы и водяная забойка. Завесы должны устраиваться на вентиляционном штреке в соответствии с требованиями подраздела 5.6. Водяная забойка шпуров должна производиться в соответствии с требованиями "Правил безопасности при обращении со взрывоопасными материалами промышленного назначения"[63].

Борьба с пылью при закладочных работах

[33-35]

При пневматической закладке необходимо обеспечить:

- увлажнение закладочного материала;
- герметичность закладочных трубопроводов;
- периодическую обмывку поверхности выработки в местах осажде-
ния пыли;

- проветривание в зоне закладки со скоростью движения воздуха не более 2 м/с.

Для увлажнения закладочного материала вода должна подаваться из конусных оросителей в бункер дробилки и через специальные насадки в закладочный трубопровод, при давлении не менее 0,4 МПа. В зависимости от начальной влажности пород суммарный удельный расход воды должен быть не менее 50 л на м³ дробимого материала, при этом в бункер дробилки должно подаваться не менее 30 л/т.

Расстояние от места подачи воды в закладочный трубопровод до конца его должно составлять 40-100 м.

При механизированной или ручной выкладке бутовой полосы под вентиляционным штреком на крутом пласте необходимо предварительно смачивать закладываемую горную массу.

Борьба с пылью в подготовительных выработках

[33, 35, 36, 59-69]

Общие положения

С целью обеспечения рациональных по пылевому фактору технологии ведения подготовительных работ и проветривания необходимо:

- предусматривать проветривание выработок, при котором исключается поступление пыли из соседних действующих забоев;

- применять управление забойными машинами из пунктов, расположенных на свежей струе или вне зоны основного пылевого потока;

- применять комплекс оборудования, обеспечивающий минимальное количество пунктов перегрузки отбитой горной массы;

- применять всасывающую схему проветривания на негазовых шахтах, а при наличии вентиляторов, допущенных для отсоса метановоздушных смесей и на газовых шахтах;

- предусматривать проветривание с оптимальной по пылевому фактору скоростью движения воздуха 0,4-0,6 м/с.

При проведении выработок комбайнами необходимо обеспечить:

- орошение водой мест работы режущего и погрузочного органов комбайна, а также места перегрузки отбитой горной массы с перегружателя комбайна на магистральные транспортные средства;

- взрывозащитное орошение с подачей жидкости в зону разрушения в выработках, опасных по фрикционному искрообразованию (по мере разработки оборудования).

При буровзрывном способе проведения выработок комплекс противо-пылевых мероприятий должен предусматривать обеспыливание воздуха при бурении, взрывании и погрузке отбитой горной массы.

После окончания заряжания шпуров в забое в призабойном пространстве размещаются сосуды ПБС с водой (водовоздушная завеса) или установки типа СЛВА или АСВП-ЛВ с устройством УПВ-30П (порошковая завеса, см. разд. 6) для создания предохранительной среды [59-69].

Разъяснение. Предохранительная среда:

- с целью предотвращения пылеобразования при ВР производят орошение забоя и 20 м выработки от него с применением смачивателей за полчаса до взрывания шпуров, увлажнение угля в массиве, водораспылительные завесы, водяную забойку шпуров;

- на расстоянии 1,0 – 1,5 м от забоя вывешиваются полиэтиленовые бесшовные мешки ПБС с водой, в которые вводятся патроны взрывчатого вещества Ф-5 с электродетонатором мгновенного действия. Мешки ПБС взрываются одновременно с врубными шпурами.

Помощники мастера-взрывника удаляются в укрытие и мастер-взрывник (лично) приступает к монтажу взрывной сети. Для этого он соединяет одним из допущенных способов (в горизонтальных и наклонных выработках чаще всего последовательно) между собой проводники всех электродетонаторов шпуровых и распыляющих воду зарядов ВВ в полиэтиленовых, создающих предохранительную среду.

С момента монтажа взрывной сети со всех электроустановок и кабелей, находящихся в пределах зоны монтажа, т. е. в выработках, в которых монтируется электровзрывная сеть, напряжение должно быть снято (при сотрясательном взрывании электроэнергия отключается перед заряданием

. Допускается не отключать находящиеся в пределах зоны монтажа осветительные электрические сети и вентиляторы местного проветривания.

Выбор схем, условий и параметров проветривания, при применении пылеулавливания, должен производиться в соответствии с "Руководством по проектированию вентиляции угольных шахт".

Борьба с пылью при работе проходческих комбайнов

Для снижения запыленности воздуха при проведении горных выработок применяются [2, 29, 33, 35, 36, 61-63]:

- взрывозащитное орошение исполнительных органов проходческих комбайнов с подачей воды на след резания каждого резца или пневмогидроорошение;

- орошение в зоне разрушения и выгрузки угля (внешнее орошение);
- обеспыливание исходящих из забоев вентиляционных потоков с помощью водяных завес;
- пылеотсос с помощью встроенных в комбайн или автономных пылеулавливающих установок, порядок применения которых определяется проектом и заключением НИИ.
- предусматривать схему проветривания, при которой исключается поступление пыли из соседних действующих забоев (на пластах с невысокой категорией пыльности допускается проветривание исходящей из очистной выработки вентиляционной струей при условии ее очистки и исключения совмещения работ);
- применять управление забойными машинами из пунктов, расположенных на свежей струе или вне зоны основного пылевого потока (в частности, при нагнетательной схеме проветривания вентиляционная труба должна располагаться со стороны пульта управления комбайном, погрузочной машины и т.п.);
- предусматривать минимальное количество пунктов перегрузки отбитой горной массы;
- обеспечивать проветривание с оптимальной по пылевому фактору скоростью движения воздуха 0,4-0,75 м/с.

На проходческих комбайнах применяются средства пылеподавления в комплектации завода-изготовителя, монтаж и наладка которых выполняются в соответствии с руководством по эксплуатации машин. . Эксплуатация проходческих комбайнов осуществляется при работающих средствах пылеподавления, системе взрывозащитного орошения или системе пневмогидроорошения с параметрами, соответствующими требованиям технической документации. Изменение параметров систем орошения допускается по экспертному заключению НИИ или аккредитованных лабораторий [2, 29, 35].

Параметры взрывозащитного орошения исполнительных органов проходческих комбайнов устанавливаются в зависимости от степени фрикционной опасности горных пород. Минимальное давление внешнего орошения не менее 1,5 МПа. Применение систем пневмогидроорошения осуществляется с установленными заводом-изготовителем параметрами на основании заключения НИИ и Разрешения Госпромнадзора ДНР. Расчет расхода жидкости и смачивателя производится по максимальному коэффициенту машинного времени работы комбайна.

Обеспечения эффективной по пылевому фактору технологии ведения подготовительных работ достигается:

-управлением комбайна из пунктов, расположенных в зоне с минимальной запыленностью воздуха;

-применением комплекса оборудования, обеспечивающего минимальное количество пунктов перегрузки отбитой горной массы.

При всех производственных процессах, при которых образуется и выделяется пыль, должно применяться пылеподавление с параметрами, указанными в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Параметры пылеподавления при основных производственных процессах в подготовительных выработках

Способ пылеподавления	Давление воды, МПа	Удельный расход воды	
		Единица измерения	Значение
Орошение при работе проходческих комбайнов	Не менее 1.2	л/м ³ горной массы	Не менее 100
Орошение при работе погрузочных машин	Не менее 1.5	То же	Не менее 50
Промывка при бурении скважин	-	л/мин	Не менее 25
Промывка при бурении шпуров	-	л/мин	Не менее 10
Обмывка горной выработки перед взрывными работами	-	л/м ³ поверхности выработки	1,0-2,0
Водяная завеса при взрывных работах	-	л/м ³ проходящего воздуха	0,1

При проведении выработок комбайнами или применения погрузочных и буровых машин применяются средства пылеподавления, которыми комплектуются эти комбайны и машины [2]. На пластах с высокой категорией пыльности проходческие комбайны по заявкам шахт могут дополнительно к орошению комплектоваться пылеуловителями или автономными пылеулавливающими установками (рис. 5.16)

Технологическая схема размещения оборудования для орошения на проходческом комбайне ия приведена на рис.5.16.

В соответствии с «Инструкцией по борьбе с пылью в угольных шахтах» [29, 35] удельный расход на орошение при работе комбайнов избирательного действия составляет 30-50 л/т.

Расчет общего расхода воды на орошения проводится с учётом количества форсунок на комбайне на проходческом комбайне: конусных форсунок типа КФ-0,4-15, обеспечивающих подачу воды непосредственно, в

зону резания (на режущую кромку резцов РГ-501д), 10 плоскоструйных форсунок типа КП-42.01.00.022, 4 плоскоструйных форсунок типа 4ПП2М.65.04.203 на перегружателе), предназначенных для создания внешней водяной завесы.

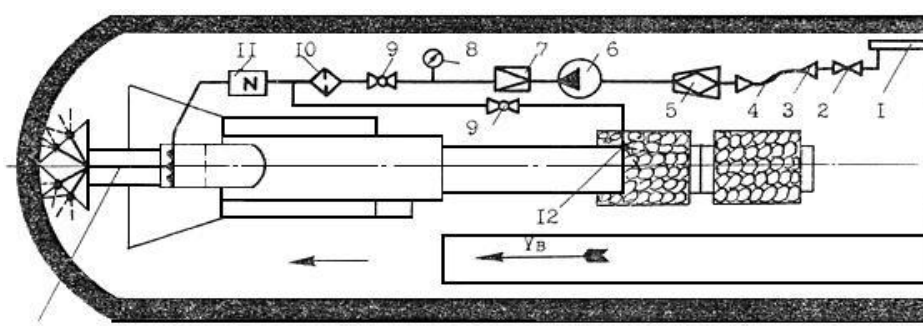


Рис.5.16. Технологическая схема размещения оборудования для орошения на проходческом комбайне

1 - пожарно-оросительный трубопровод; 2 - вентиль; 3 - переходник; 4 - забойный водовод; 5 - фильтр штрековый; 6 - насосная установка; 7 - клапан подпорно-редукционный; 8 - манометр; 9 - кран муфтовый; 10 - фильтр комбайновый; 11 - реле блокировки; 12 – ороситель

Согласно нормативным требованиям давление воды в форсунках оросительных систем проходческих комбайнов избирательного действия должно быть в пределах $15-30 \text{ кгс/см}^2$. Также возможна запитка от пожарно-оросительного трубопровода, если давление воды в нем составляет не менее 15 кгс/см^2 ($1,5 \text{ МПа}$).

Общий расход воды на орошение должен быть рассчитан по зависимости:

$$Q = A_{п.м.} \cdot Q_{п.м.}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (5.21)$$

где $A_{п.м.}$ – объем горной массы, отгружаемой за сутки, $\text{м}^3/\text{сут}$;
 $Q_{п.м.}$ – удельный расход воды при работе комбайна, $\text{л}/\text{м}^3$.

Удельный расход воды на орошение должен составлять не менее 100 л на м^3 горной массы, давление воды у оросителей должно быть не менее 1,2 МПа.

При применении специальных способов орошения (высоконапорного, взрывозащитного, пневмогидроорошения) давление воды должно поддер-

живаться в соответствии с документацией по эксплуатации комбайна, оборудованного этой системой орошения.

Для повышения смачиваемости пыли необходимо применять рабочий раствор смачивателя ПП с водой, расход которого при концентрации 0,2% ПП составит 51,2 л/сут.

Осмотр системы орошения и чистку оросителей от засорения необходимо производить не реже 1 раза в смену.

При бурении шпуров и скважин осуществляется промывка с давлением воды не менее 0,5 МПа и расходом не менее 10 л/мин. Если промывка затруднена, применяется орошение устья скважины водой, а при наличии сжатого воздуха водовоздушной смесью. При орошении водовоздушной смесью расход воды уменьшается вдвое.

При взрывных работах в выработках шахт, не опасных по газу и пыли, за 20-30 мин перед взрыванием зарядов ВВ производится орошение (обмывка) забоя и выработки на расстоянии не менее 20 м от взрывааемых зарядов. Удельный расход воды или раствора смачивателя составляет 1-2 л/м² поверхности выработки. Во время взрывных работ применяются водяные (водовоздушные) завесы, устанавливаемые в 20-30 м от забоя. Завесы перекрывают все сечение выработки. Удельный расход воды составляет не менее 0,1 л/м³ проходящего воздуха.

При работе погрузочных машин применяется орошение. Расход жидкости составляет не менее 30 л/мин при давлении 1,0 МПа.

При ручной погрузке угля применяется увлажнение отбитой горной массы.

Для снижения содержания пыли в исходящих воздушных потоках применяются водяные, водовоздушные или туманообразующие завесы.

Завесы устанавливаются не далее чем в 30 м от забоя и не далее 10 м от места перегруза горной массы с комбайна на конвейер. По мере продвижения забоя завесы переносятся.

Завесы действуют в течение всего времени проведения горной выработки. Завесы отключаются в ремонтно-подготовительные смены. Скопившаяся пыль вблизи завес убирается. Одновременно с уборкой пыли производится очистка водосточной канавки от шлама.

Расход жидкости для водяной завесы принимается равным 0,1 л/м³ проходящего воздуха при давлении 1,0 МПа, для туманообразующей завесы – 0,05 л/м³ проходящего воздуха при давлении 1,0 МПа.

Ведение горных работ осуществляется при запыленности воздуха: на исходящей струе после обеспыливающей завесы менее 150 мг/м^3 , на месте машиниста комбайна, в 30 м от комбайна менее 250 мг/м^3 . Технический осмотр средств борьбы с пылью с целью проверки их работоспособности и эффективности осуществляется не реже одного раза в сутки.

Обеспыливание вентиляционного потока воздуха, исходящего из забоя

Обеспыливание вентиляционного потока воздуха, исходящего из подготовительного забоя производится с помощью туманообразующей завесы (рис.5.15), устанавливаемой в 20 м от забоя и включаемой периодически (в период наибольшего пылеобразования, т.е. при обработке комбайном средней и верхней частей забоя). Завеса подключается противопожарно-оросительному трубопроводу и трубопроводу сжатого воздуха через отдельные краны [2, 29, 33, 35].

Более эффективными являются, создаваемые туманообразователями типа ОП-1 или ТЗ-1В. Работа туманообразующей завесы подробно описана в подразделе 5.3.3. «Борьба с пылью в очистных выработках». Расход воды на обеспыливание воздуха с помощью туманообразующих завес аналогичен приведенному в этом подразделе. На выходе отработанной вентиляционной струи воздуха из подготовительной выработки устанавливается лабиринтно-тканевая завеса ЛТЗ-4п (рис.5.16).

Давление воды для водяных и лабиринтно-тканевых завес должно быть не менее 0,5 МПа, а для туманообразующих завес и эжекторов определяется соответствующей технической характеристикой средств обеспыливания (туманообразователя или эжектора).

Завесы должны действовать в течение всего времени технологического процесса в подготовительном забое, сопровождающегося пылевыделением. Включение подачи воды должно быть заблокировано с включением основного технологического оборудования и производиться автоматически.

Запрещается:

- работать без комбайнового и штрекового фильтров;
- отключать или шунтировать реле давления и расхода воды в системе орошения;
- производить переделку оросителей: рассверливать выходные отверстия, изымать внутренние детали и т.п.

Бурение скважин и шпуров производится с промывкой водой или водовоздушной смесью. В том случае, когда осуществление промывки затруднено, допускается применять орошение устья скважины. Давление воды должно быть не менее 0,5 МПа, расход воды - 20-30 л/мин, (водовоздушной смеси - 10-15 л/мин.).

При буровзрывных работах орошение или связывание отложившейся пыли производится в соответствии с требованиями Правил безопасности при взрывных работах [35, 40, 59-64] и Правилах безопасности.

В выработках шахт, не опасных по газу и пыли, за 20-30 мин. перед взрыванием зарядов ВВ должно производиться орошение (обмывка) забоя и выработки на расстоянии не менее 20 м от взрывааемых зарядов. Удельный расход воды или раствора смачивателя должен составлять 1-2 л на м поверхности выработки. Во время взрывных работ должны применяться водяные (водовоздушные) завесы, устанавливаемые в 20-30 м от забоя. Завесы должны перекрывать все сечение выработки. Удельный расход воды должен составлять не менее 0,1 л на м³ проходящего воздуха. В выработках шахт, опасных по газу или пыли, мероприятия по борьбе с пылью должны применяться в объеме и порядке, оговоренном действующими "Едиными правилами безопасности при взрывных работах".

При подавлении пыли при погрузочных работах должно применяться орошение отбитой горной массы. Расход воды должен быть не менее 50 л/м. Воду к оросительному устройству погрузочной машины подают и участкового водопровода или от насосной установки. В качестве забойного водопровода должны применяться рукава с внутренним диаметром не менее 16 мм. При ручной погрузке угля должно применяться увлажнение отбитой горной массы.

При бурении шпуров на проходке стволов шахт [29, 35, 59] необходимо применять промывку шпуров водой, а при наличии сжатого воздуха - водовоздушной смесью. Расход воды при бурении нисходящих шпуров должен приниматься в пределах от 5 до 10 л/мин, под давлением не менее 0,5 МПа. При использовании для пылеподавления водовоздушной смеси объемное соотношение расходов воздуха и воды должно быть не менее 100:1.

Перед взрыванием шпуров необходимо применять орошение водой или 0,1%-ным водным раствором смачивателя стенок ствола на высоту до

20 м. Удельный расход воды на смачивание стенок ствола шахты составляет 1,5 л на м² смачиваемой поверхности.

При погрузке породы необходимо применять орошение ее водой в местах погрузки и разгрузки. Удельный расход воды на орошение должен составлять 40-50 л на м³ горной массы.

При притоке воды в ствол более 5 м³/ч выполнение противопылевых мероприятий необязательно.

5.7. Вопросы для самоконтроля

1. Меры по предупреждению пылеобразования и пылеотложения в горных выработках.
2. Предварительное увлажнение пластов.
3. Порядок предварительного увлажнения угля в массиве.
5. Пылевзрывозащита угольных шахт. Общие положения.
6. Расчет параметров осланцевания выработок в угольных шахтах.
7. Борьба с пылью при работе очистных комбайнов на пологих и крутых пластах при выемке угля с присечкой пород кровли.
8. Борьба с пылью при работе стругов и агрегатов на пологих пластах.
9. Борьба с пылью в очистных выработках тонких крутых пластов.
10. Борьба с пылевыделением при эксплуатации крепей.
11. Обеспыливание воздуха исходящего из очистной выработки.
12. Борьба с пылью при буровзрывной выемке угля.
13. Борьба с пылью при закладочных работах.
14. Борьба с пылью в подготовительных выработках.

6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

6.1. Предварительные замечания

Мероприятия по локализации взрывов угольной пыли [2, 29, 35, 59, 69]

Мероприятия по локализации взрывов угольной пыли основаны на применении инертной пыли или воды с целью ограничения зоны распространения взрыва. К ним относят осланцевание выработок, применение сланцевых или водяных заслонов. Сущность осланцевания горных выработок заключается в повышении зольности осевшей угольной пыли и образо-

вании смеси угольной и инертной пыли в такой пропорции, при которой исключается взрыв пылевого облака. Инертную пыль готовят главным образом из известняка или глинистого сланца. К инертной пыли предъявляют следующие требования: она не должна содержать более 1 % горючих веществ и более 10 % свободного кремнезема; содержание вредных и ядовитых примесей не должно превышать санитарных норм; тонкость пыли должна быть такой, чтобы она на 99 % проходила через сито № 66 и не менее чем на 50 % — через сито № 0075; инертная пыль должна обладать способностью переходить во взвешенное состояние (образовывать пылевое облако) во влажной атмосфере. Осланцеванию подвергают все поверхности выработок: бока, кровлю, почву и доступные места в закрепном пространстве. Осланцевание осуществляют вручную или с помощью специальных машин.

Мероприятия по борьбе с воспламенением пыли: нейтрализация и связывание осевшей пыли; соблюдение мер против воспламенения метана и других взрывчатых газов; соблюдения мер безопасности при ведении взрывных работ; соблюдения мер предупреждения воспламенения пыли при пользовании электроэнергией.

Мероприятия по предупреждению распространения взрывов пыли.

Согласно требованиям Правил безопасности в угольных шахтах [40, 67-69], на шахтах, опасных по газу и разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли, наряду с мероприятиями по их предупреждению должны применяться средства локализации и предотвращения распространения взрывов по горным выработкам на большее расстояние (средства пылевзрывозащиты). Необходимость использования средств пылевзрывозащиты обусловлена принципиальной невозможностью обеспечить абсолютную надежность всех средств предупреждения взрывов метана и угольной пыли в шахтах. Для этих целей используются заслоны из инертной пыли (сланцевые заслоны), водяные заслоны, распыление воды взрывом, водяные завесы, осланцевание выработок, связывание пыли пастами и гигроскопическими солями, гашение вспышек газа автоматическими системами, соляное обеспыливание. Порядок контроля пылевзрывобезопасности и организация работ по пылевзрывозащите выработок осуществляются в соответствии с правилами безопасности.

6.2. Расчет параметров сланцевого заслона [29, 35, 39, 40]

Расчет параметров сланцевого заслона производится в следующей последовательности.

Количество инертной пыли Q_3 (кг) для заслона определяется по формуле

$$Q_3 = P * S, \quad (6.1)$$

где P - норма расхода инертной пыли, кг/м².

Норма расхода инертной пыли в заслоне определяется из расчета 400 кг на 1 м² поперечного сечения выработки в свету в месте установки заслона.

Емкость одной полки составит

$$V = 0.5 b h a g, \quad (6.2)$$

где b - ширина полки, м;

h - высота насыпаемой пыли ($h = 0,13$ м);

a - длина полки, м;

g - удельный вес пыли ($g = 1000$ кг/м³).

Количество полок в заслоне рассчитывается по формуле

$$n = Q_3 / V, \quad (6.3)$$

Длина заслона составит

$$L_3 = 2bn.. \quad (6.4)$$

Длина сланцевого заслона должна быть не менее 20 м.

Сланцевые заслоны (рис.6.1, а,б) устраиваются из ряда устанавливаемых под кровлей поперек выработки легко опрокидываемых полок с инертной пылью. Ширина полок при жесткой конструкции должна быть в пределах 250-500 мм, а при свободнолежащем настиле 600-800 мм.

Длина полок определяется в зависимости от размера и формы поперечного сечения горных выработок. В расчетах можно принимать длину полок в пределах 2,7- 3,5 м.

По условию применения заслоны делят на основные и первичные, по применяемому материалу — на сланцевые и водяные.

Основной сланцевый заслон представляет собой ряд полок, расположенных поперек выработки у ее кровли, на которых размещают инертную пыль (рис. 6.1, а, б, в, г). Количество инертной пыли в заслоне составляет 400 кг на 1 м² площади поперечного сечения выработки в свету в месте установки заслона. Сланцевые заслоны устанавливают на расстоянии не менее 60 м и не далее 300 м от забоев очистных и подготавливающих выработок,

сопряжений откаточных и вентиляционных штреков с бремсбергами уклонами и квершлагами.

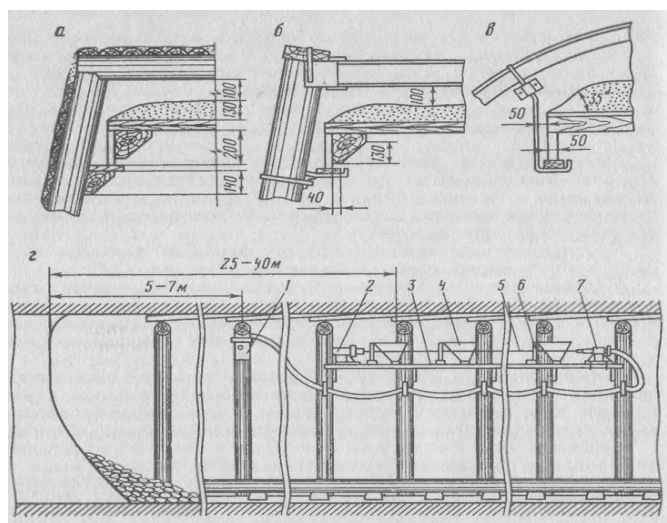


Рис 6.1.. Конструкции сланцевых (а – в) и водяного с принудительным срабатыванием (г) заслонов в выработках с деревянной (а), железобетонной (б) и арочной (в) крепями:

1 — фотоэлектрический датчик; 2 — механизм опрокидывания; 3 — продольная опорная рейка, 4 — сосуд с водой; 5 — трос с кулачками; 6 — опорная стойка; 7 — механизм спуска

Основной водяной заслон состоит из ряда опрокидывающихся пластмассовых или жестяных сосудов вместимостью не более 80 л каждый. Общая длина заслона не менее 30 м. Количество воды в заслоне должно составлять 400 л на 1 м² площади поперечного сечения выработки в свету в месте установки заслона. Водяные заслоны устанавливают на расстоянии не менее 75 м и не более 250 м от мест, указанных для сланцевых заслонов.

Забои штреков, отстоящие от очистных забоев на расстоянии 40 – 150 м, защищают первичными водяными заслонами с принудительным срабатыванием (рис. 6.1, г). Первичный заслон состоит из шести металлических сосудов, заполненных водой из расчета 100 л на 1 м² площади поперечного сечения выработки в месте установки заслона. Длина заслона 6 – 6,5 м, расстояние от забоя выработки не менее 25 м и не более 40 м. При взрыве угольной пыли тепловое излучение улавливается фотоэлектрическим датчиком, расположенным в 5 – 7 м от забоя. Возникающий ток взрывает электродетонатор в механизме спуска, который опрокидывает сосуды с водой. Заслонами защищают очистные забои, забои подготавливающих выработок, проводимых по углю или углю и породе, крылья шахтного поля на каждом пласте, конвейерные выработки и пожарные участки.

6.3. Расчет параметров водяного заслона [39]

Расчет параметров водяного заслона производится аналогично расчету для сланцевого заслона.

Количество воды в заслоне определяется из расчета 400 л на 1 м² поперечного сечения выработки в свету в месте установки заслона.

Водяные заслоны устраиваются из ряда устанавливаемых под кровлей поперек выработки наполненных водой, легко опрокидываемых или разрушаемых сосудов емкостью не более 80 л каждый. Число сосудов принимается с запасом не менее 10%. Расстояние между полками с сосудами должно быть не менее 500 мм. Общая длина водяного заслона должна быть не менее 30 м.

6. 4. Недостатки локализации взрывов с использованием водяных и сланцевых заслонов

До настоящего времени как в ДНР, Украине и России, так и за рубежом в качестве основного средства пылевзрывозащиты (локализации взрывов) использовали пассивные водяные или сланцевые заслоны, с помощью которых на шахтах изолировали наиболее вероятные очаги взрывов, в первую очередь, к их числу относятся очистные и подготовительные забои [1]. Согласно статистическому анализу данных об авариях за 50-летний период на шахтах СССР и России на этих объектах происходит соответственно 45,5 и 36,5 % случаев взрывов. При этом в 80 % таких аварий источниками воспламенения взрывчатой метановоздушной или пылеметановоздушной смеси служили неисправное электрооборудование, взрывные работы и фрикционное искрение при работе выемочных и проходческих комбайнов, буровых станков.

В соответствии с требованиями Правил безопасности на шахтах [40], разрабатывающих пласты опасные по взрывам метана и угольной пыли, наряду с мерами по предупреждению взрывов должна применяться вторая линия пылевзрывозащиты: локализация уже возникших взрывов. До настоящего времени в Украине и в странах СНГ в качестве второй линии пылевзрывозащиты используют пассивные водяные или сланцевые заслоны. Взрыволокализирующее действие пассивного заслона состоит в создании гасящей среды, представляющей собой облако диспергированного пламегасящего вещества (воды или инертной пыли). При этом сланцевый заслон может локализовать взрыв лишь на определенной стадии развития взрывного процесса и в очень узком диапазоне скоростей распространения пламени: 140 – 280 м/с. В самом принципе действия сланцевых заслонов заложено

противоречие. При слабых взрывах ударная волна не в состоянии опрокинуть полки с инертной пылью, а при больших скоростях движения взрывной волны заслон не успевает сработать (инерционность сланцевых заслонов более 2 с).

Авария на шахте Ульяновская (Кузбасс) произошедшая 19.03. 2007г и унесшая более 100 жизней, показала неэффективность сланцевых заслонов. Все заслоны были разбиты и сланцевая пыль рассыпана по горной выработке, однако взрыв угольной пыли не только не был локализован, но продолжал развиваться за ними. В настоящее время в большинстве угледобывающих стран отказались от использования сланцевых заслонов. Несколько эффективнее применять водяные заслоны из пленочных сосудов типа “водяной мешок”. Подобные водяные заслоны сработали в условиях реальных взрывов на шахтах Кузбасса (Распадская в 2005 г., Кушеяковская в 2006г., Комсомолец в 2007г.).

Основной недостаток способа локализации взрывов с использованием водяных и сланцевых заслонов, применяемых в настоящее время, состоит в сложности достижения их эффективности, которая обеспечивается при полном переводе всей массы инертной пыли (воды) во взвешенное состояние; при сохранении инертной пыли (воды) во взвешенном состоянии до момента прихода фронта пламени.

Первое условие реализуется при применении наиболее легко разрушаемых конструкций полок (или сосудов), а также при расположении заслонов на оптимальном расстоянии от места возникновения взрыва либо входа фронта пламени в выработку. При расстояниях от 100 до 220 м для создания и надежной локализации взрывов пыли необходима удельная весовая нагрузка инертной пыли 50-150 кг на 1 м² поперечного сечения выработки. В случае расположения заслонов близко к возможному месту возникновения взрыва или, напротив, далее 250-300 м, для гашения взрывов требуются все большие весовые нагрузки. Согласно нормативу, количество сланцевой пыли, размещаемой на полках, должно определяться из расчета 400 кг на 1 м² поперечного сечения выработки, что соответствует, например, для выработки площадью сечения 15 м² - 6000 кг на один заслон.

Второе условие обеспечивается при расположении рядов полок (сосудов) заслона на оптимальном расстоянии друг от друга, составляющем 2-3 м и соответствующем времени существования облака 0,4-0,6 с. Если условия не позволяют достичь такого расположения, то необходимо сократить данное расстояние до 1 м, но при этом снизится надежность заслона. При

меньших расстояниях концентрация инертной пыли (воды) в облаке становится настолько велика (20-25 кг/м³), что оно за 0,05-0,10 с оседает и к моменту подхода фронта пламени не сохраняется. Увеличение расстояния между рядами полок (сосудов) более 5 м нерационально, так как снижение концентрации инертной пыли (воды) обуславливает неполное использование механизмов действия заслона.

Следует отметить, что все параметры применяемых пассивных сланцевых заслонов введены в действие в соответствии с Правилами безопасности в каменноугольной и сланцевой промышленности, утвержденными народным комиссаром топливной промышленности СССР (приказ от 23.09.1939 № 497/а). Эффективность пассивных заслонов носит вероятностный характер, и, даже при полном соблюдении таких параметров, вероятность отказа составляет 1/300 (т.е. один из 300 взрывов проходит заслон). Допустимые отступления от оптимальных параметров установки заслонов увеличивают вероятность отказа до 1/100. Однако в реальных условиях шахт вероятность эффективного срабатывания сланцевых заслонов всегда намного ниже вследствие определенных неточностей в установке и погрешностей в эксплуатации заслонов.

Скорость срабатывания, применяемых водяных и сланцевых заслонов, несравнима с динамикой распространения фронта пламени по горным выработкам. В связи с этим пассивные заслоны имеют ограниченный диапазон эффективного срабатывания. Как показали экспериментальные исследования, выполненные в опытной штольне МакНИИ (Украина), они могут локализовать взрыв метана и (или) пыли в лучшем случае лишь при скорости распространения взрыва от 120 до 280 м/с.

Это приводит к тому, что за многие десятилетия, начиная с 20-х годов XX столетия, в шахтах, оборудованных сланцевыми и водяными заслонами, не всегда удавалось локализовать взрывы метана и угольной пыли, предотвратить развитие их в крупные аварии с человеческими жертвами и большим материальным ущербом.

6.5. Гашение вспышек газа автоматическими системами [65-67, 69]

Начиная с конца 60-х годов, во многих странах интенсивно проводятся научные исследования по созданию ждущих автоматических систем гашения вспышек (взрывов) в горных выработках шахт. Одна из них - система АСВП-ЛВ допущена к применению на шахтах Украины.

Системы автоматической взрывозащиты горных выработок

Система АСВП-ЛВ (рис. 6.2) работает в ждущем режиме. В результате воздействия силой ударного действия от избыточного давления на фронте ударно-воздушной волны, образованной в результате взрыва метановоздушной смеси и (или) угольной пыли, на приёмный щит АКУ, приёмный щит через выносные штанги передаёт механический импульс на устройство срабатывания УЛВ. После срабатывания этого устройства сжатый под большим давлением воздух, находящийся в рабочей полости УЛВ, через выхлопные отверстия рабочей полости поступает в импульсном режиме в промежуточную камеру и бункер УЛВ, подхватывает расположенный в них пламегасящий порошок, разрывает плёночную диафрагму и выбрасывает пламегасящий порошок в пространство горной выработки. При этом в объёме выработки по всему её сечению на пути распространения фронта пламени формируется пламегасящий заслон, в виде облака пламегасящего порошка во взвешенном состоянии, длиной не менее 30 м. Этот заслон ликвидирует подошедший фронт пламени (гасит его) и прекращает (локализует) процесс распространения взрывов по сети горных выработок.

В настоящее время автоматические системы АСВП-ЛВ выпускаются серийно по заказам угледобывающих предприятий ЗАО Межведомственная комиссия по взрывному делу при Академии горных наук. ФГУП Научным центром по безопасности работ в угольной промышленности ВОСТНИИ на автоматическую систему взрывоподавления – локализации взрывов АСВП-ЛВ выдан сертификат соответствия № РОСС RU.МЩ04.В00320 [68, 69]

Рабочее давление сжатого воздуха в рабочей полости УЛВ – 12 МПа. Инерционность срабатывания системы - 15 мс. Длина создаваемого заслона (облака) пламегасящей среды не менее 30 м. Масса системы не более 76 кг. 10 таких систем было установлено на шахте Ульяновская (Россия). После взрыва было отмечено, что сработали 5 систем. Остальные не сработали ввиду отсутствия в подошедшей к ним ударной волне с низким, неопасным давлением. За установленными и сработавшими автоматическими системами АСВП-ЛВ - не погиб не один человек.

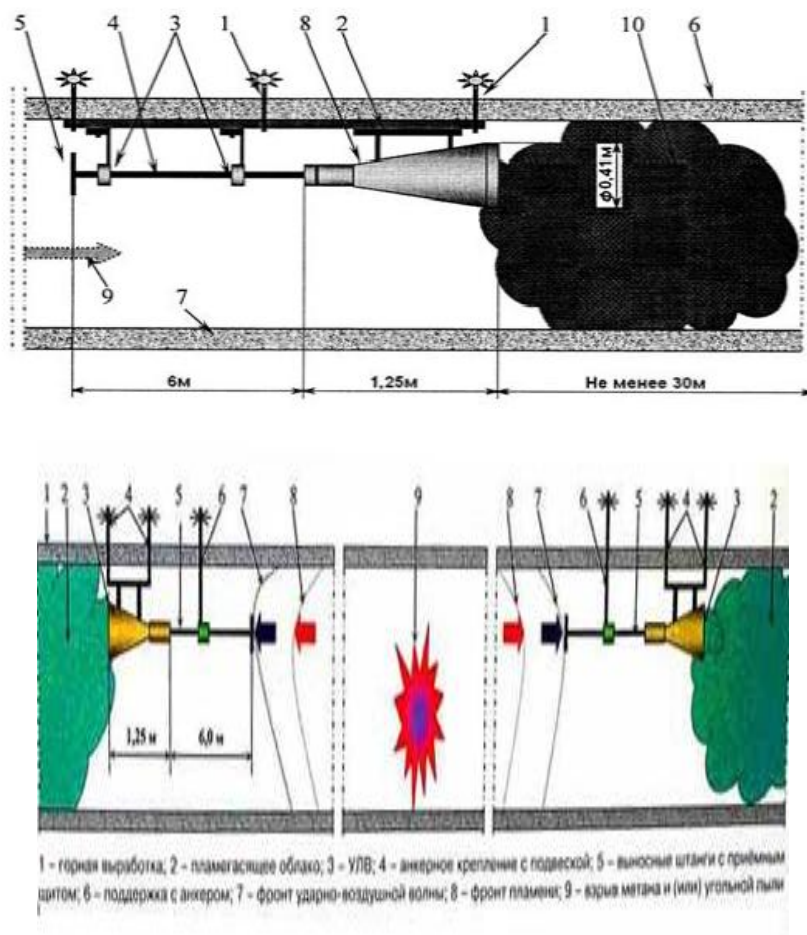


Рис 6.2 – Принципиальная схема установки в горной выработке с использованием анкерного крепления и габаритные размеры АСВП-ЛВ:

1 - анкерное крепление; 2 –подвеска; 3 –поддержки; 4 –выносные штанги; 5 – приёмный щит; 6 – кровля выработки; 7 – почва выработки; 8 –устройство локализации взрыва (УЛВ); 9 –направление распространения взрыва (фронтов ударно-воздушной волны и пламени).

На шахтах, разрабатывающих угольные пласты, опасные по взрывам пыли, забои подготовительных выработок, проводимые по углю или породе, а также распредпункты и другие места групповой установки электрооборудования в участковых выработках должны быть защищены автоматическими системами локализации вспышек метана и угольной пыли. МАК НИИ совместно с НПО «Респиратор» и ОАО «Красный металлист» разработана автоматическая система СЛВА.

Автоматическая система локализации вспышек метана и угольной пыли (СЛВА)

Автоматическая система состоит из устройства подавления вспышек УПВ-30П (рис. 6.3), установленного на монорельсе, датчика пламени ДПК,

который с помощью захватов крепится на арочной крепи, блока сопряжения с пускателем БСП, который устанавливается на пускателе ПВИ. Устройство подавления взрыва должно располагаться в 10-15 м от возможного очага взрыва, датчик пламени - на расстоянии 4-5 м.



Рис. 6.3. Внешний вид устройства подавления вспышек УПВ-30П

Варианты расположения автоматической системы в участковых выработках приведены на рисунке 6.4 (а, б):

Для создания предохранительной среды устройство подавления вспышек УПВ-30П заряжается пламягасящим порошком, газогенерирующим зарядом и пиропатроном. При появлении в зоне обзора датчика ДПК вспышки метана формируется управляющий сигнал для зажигания пиропатрона газогенерирующего заряда.

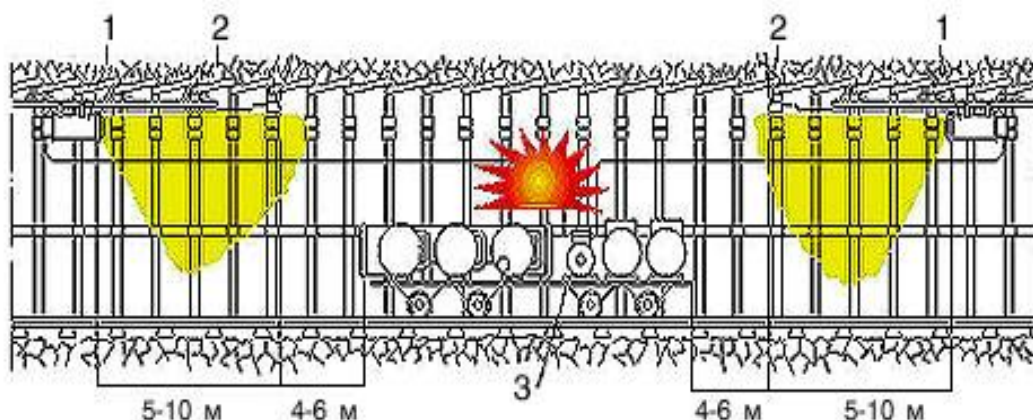
В результате быстрого сгорания газогенерирующего заряда образуется большое количество газов, поступающих в контейнер взрывоподавителя и выбрасывающих пламягасящий порошок в очаг воспламенения. При этом в объеме выработки на протяжении 15 м создается инертная среда, не позволяющая пламени распространяться по выработке.

Эксплуатация автоматической системы требует специальной организации и подготовки обслуживающего персонала. Монтаж, наладка и обслуживание системы должны проводиться назначенными лицами, прошедшими соответствующее обучение. Зарядку устройства подавления вспышек газогенерирующим зарядом и пиропатроном допускается проводить мастеру-взрывнику по наряд-путевке.

Снаряжение устройства подавления вспышек пламягасящим порошком может проводиться как на поверхности, так и непосредственно в месте установки, снаряжение газогенерирующим зарядом и пиропатроном должно производиться непосредственно на месте установки. Ежедневно горным мастером участка ВТБ должен проводиться контроль работоспособности;

датчиков, напряжения питания и состояния цепи пиропатрона, проверка ориентации окна фотоприемника датчика пламени и очистка его от пыли и влаги.

а) Схема расположения системы СЛВА для защиты распределителя



б) Схема расположения системы СЛВА для защиты тупиковых выработок

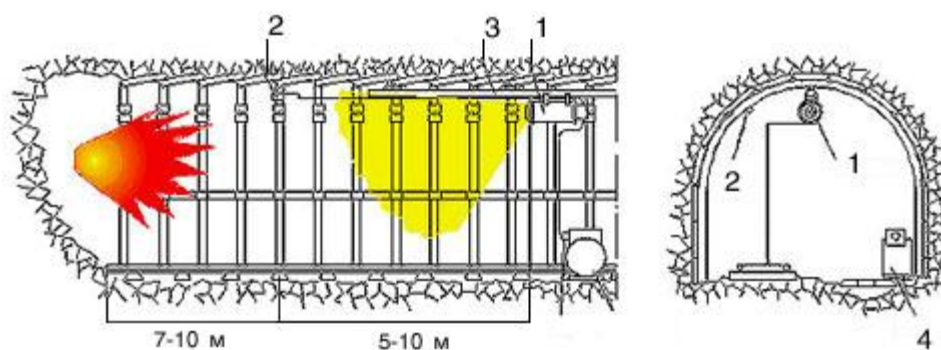


Рисунок 6.4. Схема расположения автоматической системы локализации вспышек метана и угольной пыли:

а - для защиты распределителя; б - для защиты тупиковой выработки; 1 - устройство УПВ-30П; 2 - датчик ДПК; 3 «а» – КУ; 3 «б» - монорельс; 4 – ПВИ-320.

Ежемесячно должна проводиться проверка целостности соединений в клеммном отсеке устройства подавления вспышек. Один раз в год должна проводиться замена пламягасящего порошка и мастером-взрывником газо-генерирующего заряда. На обслуживание и эксплуатацию автоматизированной системы должен быть заведен журнал, в котором должны отражаться

результаты профилактических и текущих осмотров, проверок, ремонтов или замены отдельных деталей и узлов.

Система СЛВА работает в непрерывном ждущем режиме. При появлении в зоне обзора ДП пламени взрыва (вспышки) метана или угольной пыли последний формирует управляющий сигнал, открывающий электронный ключ блока энергонакопления, от которого импульсом тока воспламеняется пиротехнический электровоспламенитель газогенерирующего заряда.

В результате быстрого сгорания газогенерирующего заряда образуется большое количество газов, поступающих в контейнер и выбрасывающих ингибитор в зону очага воспламенения. Благодаря применению фотоприемника, чувствительного в ИК области спектра, и соответствующего оптического фильтра датчик не реагирует на источники рудничного освещения (головные светильники, фары электровоза и других машин). Скорость создания взрывоподавляющей среды не менее 100 м³/с. В Центральном научно-исследовательском институте химии и механики (г. Москва) разработан пожаротушащий комплекс для угольных шахт, основанный также на принципе мгновенного срабатывания при фиксации световой вспышки (очага воспламенения). Технические характеристики комплекса: время обнаружения очага воспламенения – не более $40 \cdot 10^{-6}$ с; минимальное время задержки срабатывания – не более 0,012 с.

Таблица 6.1 – Состав изделия

Наименование составных частей и документации		Кол-во
Составные части	Блок сопряжения с пускателем БСП	1
	Датчик пламени компактный ДПК	2
	Устройство подавления взрыва УПВ-30П	2
Комплект запасных частей	Датчик пламени компактный ДПК	2
Комплект эксплуатационных документов	Руководство по эксплуатации СЛВА.00.00.000 РЭ	1
Комплект монтажных частей	Ключ специальный 1765.00.00.001	1
	Муфта соединительная 1811.00.01.000	2

Таблица 6.2 – Технические данные

Минимальный диаметр регистрируемого очага воспламенения с расстояния 5 м в направлении оси визирования, м	0,75		
Угол обзора датчика пламени, град, не менее	70		
Защищенность от ложных срабатываний при освещенности в месте установки датчика пламени, лк, не более	5000		
Длина зоны взрывоподавляющей среды при сечении выработки 10 м ² , м, не менее	15		
Номинальное напряжение питания, В, переменного тока частотой (50 + 1) Гц	36		
Потребляемая мощность, ВА, не более	10		
Время работы от блока резервного питания, ч, не менее	6		
Габаритные размеры, мм, не более	длина	ширина	высота
Датчика пламени (ДПК)	160	65	50
Устройства подавления взрыва (УПВ-30П)	1000	490	460
Блока сопряжения с пускателем (БСП)	225	70	120

Таблица 6.3 – Технические данные

Масса, кг, не более	
Датчика пламени (ДПК)	0,5
Устройства подавления взрыва (УПВ-30П)	65 ¹⁾
Блока сопряжения с пускателем (БСП)	5,0
Подвески в сборе	20

* Масса без порошка ПВХ-1, которая составляет 30 кг для снаряжения одного УПВ-30П. Исполнение составных частей системы СЛВА.

Недостатки и достоинства исполнительных устройств

Необходимо также отметить и общий недостаток, присущий всем рассмотренным выше типам исполнительных устройств: освобождение сжатой пружины и инициирование рабочего заряда происходит с помощью элект-

тродетонаторов, обладающих чувствительностью к ударам и толчкам, что может послужить источником ложных срабатываний таких устройств, установленных в горных выработках шахты. В связи с этим подобные устройства должны быть оснащены специальными средствами защиты электродетонаторов от внешних (посторонних) воздействий.

Устройства, в которых диспергирование и выброс пламегасящего материала осуществляются газами, образующимися при сгорании специальных газогенерирующих составов, обладают определенными достоинствами. Для поджигания газогенерирующего состава используется не электродетонатор, а электровоспламенитель, что делает такие устройства нечувствительными к ударам и толчкам. Следовательно, снижается вероятность ложных срабатываний системы. Также проще и обслуживание таких устройств. Принимая во внимание, что быстродействие подобных устройств вполне достаточно для гашения на начальной стадии вспышек метана и угольной пыли (при использовании быстрогорящих газогенерирующих составов), можно считать возможным их применение в автоматических системах. Такие системы полезны для гашения вспышек метана при защите скоплений электрооборудования в шахтах или местах возможного фрикционного искрения. Для локализации динамично развивающихся взрывов метана и (или) угольной пыли быстродействия таких систем недостаточно. Важное требование к ним - отсутствие в составе образующихся газов ядовитых или высокотоксичных химических соединений. Кроме того, использование в них штатных средств инициирования вместо электровоспламенителя лишает системы с газогенерирующими составами преимуществ по сравнению с системами, содержащими ВВ, что влечет за собой необходимость выполнения всех мероприятий, положенных при допуске ВВ, или устройств, содержащих ВВ, к применению. Все это значительно усложняет эксплуатацию таких систем в угольных шахтах.

Датчик, как важнейший элемент автоматических систем гашения взрывов метана

Важнейший элемент автоматических систем гашения, определяющий возможность своевременного обнаружения вспышки (взрыва), - датчик, реагирующий на какое-либо физическое явление, сопровождающее вспышку или взрыв, и выдающий сигнал на срабатывание исполнительного устройства. Как известно, любая вспышка (взрыв) метановоздушной или пылеметановоздушной среды сопровождается возникновением пламени, которое

характеризуется значительным повышением температуры в зоне реакции и в окружающей среде, а также служит источником интенсивного электромагнитного или светового излучения в широком диапазоне частот. Кроме того, на определенной стадии развития взрывного процесса возникает ударная воздушная волна (УВВ), представляющая собой распространяющуюся по выработке зону повышенного давления. Все эти физические процессы, сопровождающие взрыв, могут быть зафиксированы с помощью специальных устройств, что позволяет использовать их в автоматических системах локализации в качестве датчиков, реагирующих на возникновение вспышки или взрыва.

Распространение получили датчики, реагирующие на высокую температуру пламени взрыва или пожара. В качестве чувствительного элемента таких датчиков в основном применяют различные термопары. К преимуществам таких датчиков следует отнести их высокую помехозащищенность и сравнительно простое устройство. Однако, несмотря на высокую чувствительность и сравнительно небольшую инерционность термопар, для срабатывания такого датчика необходим непосредственный контакт с пламенем. В связи с этим, для обеспечения своевременного диспергирования пламегасящего вещества перед подходом фронта пламени взрыва необходимо увеличивать расстояние между датчиком и исполнительным (взрывным) устройством до нескольких десятков метров. При этом, естественно, теряется основное преимущество автоматических систем - способность погасить взрыв (вспышку) на начальной стадии развития.

Перспективны, с точки зрения обеспечения быстродействия ждущих автоматических систем гашения взрывов, оптические датчики, реагирующие на световое излучение пламени, главным образом в инфракрасной и ультрафиолетовой частях спектра. Как показали специальные исследования спектрального состава излучения пламени взрывов метана и угольной пыли, различных источников рудничного освещения, а также поглощения ультрафиолетового и инфракрасного излучения взвешенной в воздухе угольной и породной пылью, наиболее подходящими для шахтных автоматических систем взрывоподавления являются оптические датчики, чувствительные к инфракрасному излучению пламени, снабженные светофильтрами, пропускающими излучение с длиной волны меньше $1,1 \cdot 10^{-6}$ м. Однако применение таких датчиков ограничено возможностью ложного срабатывания от воздействия других источников света и сложностью защиты оптических деталей от запыления в подземных горных выработках.

Как показал анализ результатов ряда исследований, возможно применение датчиков, реагирующих на повышение давления, т.е. на наличие УВВ. Такие датчики показали свою надежность и избирательность, поскольку они выдают сигнал на срабатывание автоматической системы только при взрывах метана (угольной пыли) и не реагируют на случайные вспышки. Однако следует учитывать, что при их разработке необходимо точно выставлять порог срабатывания: с одной стороны, повышая чувствительность (для гарантированного обнаружения взрывов в начальной стадии возникновения), с другой - борясь с ложными срабатываниями от посторонних помех (например, при ведении взрывных работ). Исследования показали, что оптимальный порог срабатывания таких систем должен быть порядка 0,02 МПа.

6.6. Вопросы для самоконтроля

1. Расчет параметров сланцевого заслона
2. Расчет параметров водяного заслона
3. Недостатки локализации взрывов с использованием водяных и сланцевых заслонов
4. Гашение вспышек газа автоматическими системами

7, БОРЬБА С ПЫЛЬЮ В ТРАНСПОРТНЫХ И ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ [1, 2, 29, 35]

7.1. Пылеподавление на передвижных и полустационарных погрузочных пунктах

При относительно невысокой категории пыльности подавление пыли у передвижных и полустационарных пунктов погрузки угля и в пунктах погрузки и перегрузки угля на ленточных конвейерах осуществляется орошением с помощью зонтичных или конусных форсунок с расходом воды 5 л/т и давлением 0,5 МПа. Число форсунок рассчитывается. Форсунки должны устанавливаться над местом погрузки таким образом, чтобы факел воды перекрывал весь очаг пылеобразования. Включение орошения должно производиться автоматически.

При высокой категории пыльности и скорости движения воздуха более 2 м/с на передвижных погрузочных пунктах рекомендуется схема, в которой используется эжектирующее действие воды для отсоса и улавливания пыли в комплексе с укрытием. Давление воды на форсунках должно составлять

1,2 МПа, число форсунок рассчитывается из удельного расхода воды 5 л/т. При средней или высокой категории пыльности орошение на стационарном погрузочном пункте угля в вагоны рекомендуется дополнять укрытием или производить отсос запыленного воздуха.

Оросители устанавливаются таким образом, чтобы общий факел распыляемой воды полностью изолировал очаг пылевыведения.

Для снижения пылевыведения и исключения просыпи горной массы при монтаже и эксплуатации ленточных конвейеров необходимо соблюдать требования "Правил эксплуатации подземных ленточных конвейеров для угольных шахт".

В пунктах погрузки и перегрузки горной массы на ленточные конвейеры следует предусматривать:

- ограждающие борта длиной (в метрах) не менее двухкратной величины численного значения скорости движения ленты (в м/с);
- механические укрытия для предотвращения выдувания пыли;
- устройство эжекционного пылеотсоса для перегрузочных пунктов ленточных конвейеров (по мере освоения оборудования);
- орошение с помощью конусных или зонтичных оросителей, которые должны устанавливаться над местом перегрузки горной массы таким образом, чтобы факел распыляемой воды перекрывал очаг пылевыведения. Давление воды у оросителей должно быть не менее 0,5 МПа, а удельный расход воды - не менее 5 л/т;
- применение устройств для очистки от пыли и штыба холостой ветви конвейера.

Подачу воды для орошения на ленточных конвейерах следует производить непосредственно от пожарно-оросительного трубопровода. Необходимо предусматривать автоматическое включение орошения.

Не реже одного раза в месяц должна производиться обмывка конвейерных выработок. При этом скопления угольной мелочи и шлама должны убираться. На шахтах, разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли, обмывка должна производиться в соответствии с требованиями раздела

7.2. Борьба с пылью при работе опрокидывателей и загрузочных устройств

Для снижения пылевыведения при работе опрокидывателей и комплексов загрузочных устройств должны применяться укрытия основных источников пылевыведения, пылеулавливание или орошение.

Системы аспирации должны предусматриваться на стадии проектирования и реконструкции шахт, подготовки новых горизонтов, в проектах, разрабатываемых специализированными организациями.

Отвод запыленного воздуха из укрытий опрокидывателей и погрузочных устройств допускается производить с использованием общешахтной депрессии при условии установки на исходящей струе водяных завес с удельным расходом воды 0,1-0,2 л/м³ очищаемого воздуха.

В горизонтальных и наклонных выработках, по которым подается свежая струя воздуха, при категории пыльности выше средней, на погрузочных (перегрузочных) пунктах ленточных конвейеров должны устанавливаться укрытия с последующим орошением перегружаемого угля форсунками или водовоздушными эжекторами .

Включение орошения должно производиться автоматически при включении конвейера и наличии материала на ленте. Укрытие погрузочного (перегрузочного) пункта ленточного конвейера может быть дополнено отсосом запыленного воздуха с последующей его очисткой. При транспортировании влажного угля с содержанием внешней влаги 6% и более орошение под укрытием может отсутствовать, а производиться только отсос и очистка запыленного воздуха. Объем воздуха, который необходимо отсасывать из-под укрытия, рассчитывается. Кроме того, на главных конвейерных выработках рекомендуется предусматривать проветривание с оптимальной по пылевому фактору скоростью движения воздуха 0,7–1,3 м/с, а в выработках со скоростью воздуха более 3 м/с - укрытие грузовой ветви конвейера.

Орошение при работе опрокидывателей и загрузочных устройств аккумулирующих бункеров и дозаторов должно осуществляться с помощью оросителей, которые монтируются непосредственно в полостях укрытий. Давление воды у оросителей должно быть не менее 0,5 МПа, а в неаспирируемых укрытиях - не менее 1 МПа. Расход жидкости составляет не менее 5 л/т.

На передвижных и полустационарных погрузочных пунктах, а также в пунктах погрузки и перегруза на ленточных конвейерах применяется орошение под укрытиями. Оросители под укрытиями необходимо размещать таким образом, чтобы общий факел диспергированной воды полностью изолировал основные источники пылевыделения. Системы орошения должны оснащаться манометрами. Включение подачи воды должно производиться автоматически при включении электродвигателя опрокидывателя или загрузочного устройства.

При естественной влажности угля 10 % и более орошение в пунктах погрузки и перегруза не требуется.

В пунктах погрузки и перегруза горной массы на ленточных конвейерах предусматриваются:

- ограждающие борта на участке длиной не менее 5 м;
- устройства пылеподавления;
- укрытия для предотвращения выдувания пыли;
- устройства для очистки от пыли и штыба холостой ветви конвейера.

При применении средств гидрообеспыливания на ленточных конвейерах предусматривается автоматическое включение подачи воды.

Не реже одного раза в месяц производятся обмывка конвейерных выработок и уборка скопившейся угольной мелочи и шлама.

Для снижения запыленности воздуха при работе опрокидывателей и стационарных погрузочных пунктов применяются укрытия основных источников пылеобразования, аспирация и очистка запыленного воздуха. При их устройстве руководствуются нормами технологического проектирования поверхности угольных и сланцевых шахт, разрезов и обогатительных фабрик.

Отвод запыленного воздуха из под укрытий опрокидывателей и погрузочных пунктов производится с использованием общешахтной депрессии. В этом случае в выработке с исходящей запыленной вентиляционной струей устанавливаются водяные завесы с удельным расходом воды 0,1-0,2 л/м³ очищаемого воздуха и давлением 0,5 МПа.

При отсутствии средств аспирации применяется орошение. При работе опрокидывателей и загрузочных устройств аккумулирующих бункеров и дозаторов оросители монтируются в полостях укрытий.

Факелы оросителей под укрытиями обеспечивают изоляцию источников пылевыведения. Подача воды производится автоматически при включении электродвигателя опрокидывателя или загрузочного устройства.

Технический осмотр средств борьбы с пылью с целью проверки их работоспособности и эффективности осуществляется не реже одного раза в сутки.

7.3. Очистка и обеззараживание воды в подземных условиях для целей пылеподавления

Водоснабжение горных выработок должно обеспечивать потребность в воде для борьбы с пылью и для тушения пожаров. В связи с этим при проектировании водоснабжения учитываются требования как к качеству воды для

пылеподавления, так и одновременному расходу воды на пылеподавление и тушение возможного пожара.

При гидрообеспылировании должна применяться вода, отвечающая требованиям ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества» по бактериологическому и токсикологическому показателям, имеющая активную реакцию более 6,5 рН, а также при условии отсутствия резкого неприятного запаха и содержания родона или торона в воде не более 1.10 кюри/л.

Обеззараживание воды производится гидрохлоридом натрия, который готовится на месте путем электролиза раствора хлорида натрия (поваренной соли). Установка для обеззараживания воды имеет следующее оборудование. Резервуар емкостью 0,2-0,4 м³ для приготовления раствора поваренной соли имеет поплавковый дозатор для дозирования поступающего в электролизер раствора на уровне 40 л/час. Уровень раствора контролируется по водомерному стеклу. Для слива жидкости при промывке и чистке резервуара предусмотрен вентиль. Электролизер типа ЭД-2 для получения гидрохлорида натрия работает при постоянном расходе жидкости в период заправки дозатора. Электропитание электролизера производится от источника постоянного тока. Дозатор типа УДПК-4 обеспечивает автоматическую дозировку раствора гидрохлорида натрия в напорный водопровод и обеспечивает заданную концентрацию его в обеззараживаемой воде. Дозатор снабжен регулятором дозировки раствора и вентилями для заливки раствора и для выпуска воды. Число дозаторов принимается не менее двух: один дозатор находится в работе, второй заправляется раствором гидрохлорида натрия. Доза хлора для обеззараживания воды определяется санитарно-эпидемиологической службой в пределах 5 мг на один литр воды.

При отсутствии или недостатке в районе шахты воды питьевого качества по согласованию с органами санитарного надзора разрешается использовать шахтную воду или воду из других источников для борьбы с пылью при условии ее очистки от механических примесей, устранения бактериологической загрязненности и нейтрализации. Вода, подаваемая для пылеподавления, должна иметь после очистки содержание взвеси до 50 мг/л; активная реакция рН от 6 до 9,5; титр кишечной палочки не менее 300 см.

Пробы воды для контроля должны отбираться ежеквартально из пожарно-оросительного трубопровода в местах подключения основных потребителей воды на выемочных и подготовительных участках.

График отбора проб воды утверждается руководителем предприятия и согласовывается с органами санитарного надзора. Подача воды на гидрообеспыливание должна осуществляться с поверхности шахты по пожарно-оросительному трубопроводу.

В местах подключения потребителей воды к штрековому пожарно-оросительному трубопроводу должны быть установлены фильтры для очистки воды от механических взвесей, размер которых превышает 0,5 мм. Фильтры должны устанавливаться независимо от качества поступающей воды. При наличии на участке оросительной установки, в комплект которой входит фильтр, применение дополнительного фильтра не требуется.

Участковый пожарно-оросительный трубопровод должен быть рассчитан на пропуск такого количества воды, которое обеспечит заданный режим работы средств пылеподавления, имеющихся на участке.

1. Общий расход воды в участковом трубопроводе определяется по формуле:

$$Q = \sum_{m=1}^m knQ_{nom}, \quad (7.1)$$

где: Q - общий расход воды по участку, м³/с;

k - коэффициент одновременности работы однотипных потребителей (значение принимается по табл. 7.1);

n - число однотипных потребителей;

Q_{nom} - число одновременно работающих потребителей.

2. Давление воды на отводах рассчитывается по следующей зависимости

$$P = P_{nom} + \Delta pL + 0.01L \cdot \sin\alpha \quad (7.2)$$

где: P - давление воды на отводе участкового трубопровода, МПа;

P_{nom} - давление воды у наиболее удаленного потребителя, МПа;

Δp - потери давления на единицу длины забойного водопровода (принимаются по графику на рис. 7.1), МПа;

L - длина забойного водопровода, м;

$\sin\alpha$ - угол падения, град.

В случаях, когда в местах отвода к потребителям не может быть обеспечено давление воды, рассчитанное по выше приведенной формуле

вследствие ограничений по прочности или обеспечения требований пожарной защиты шахты, то должны быть применены насосные установки.

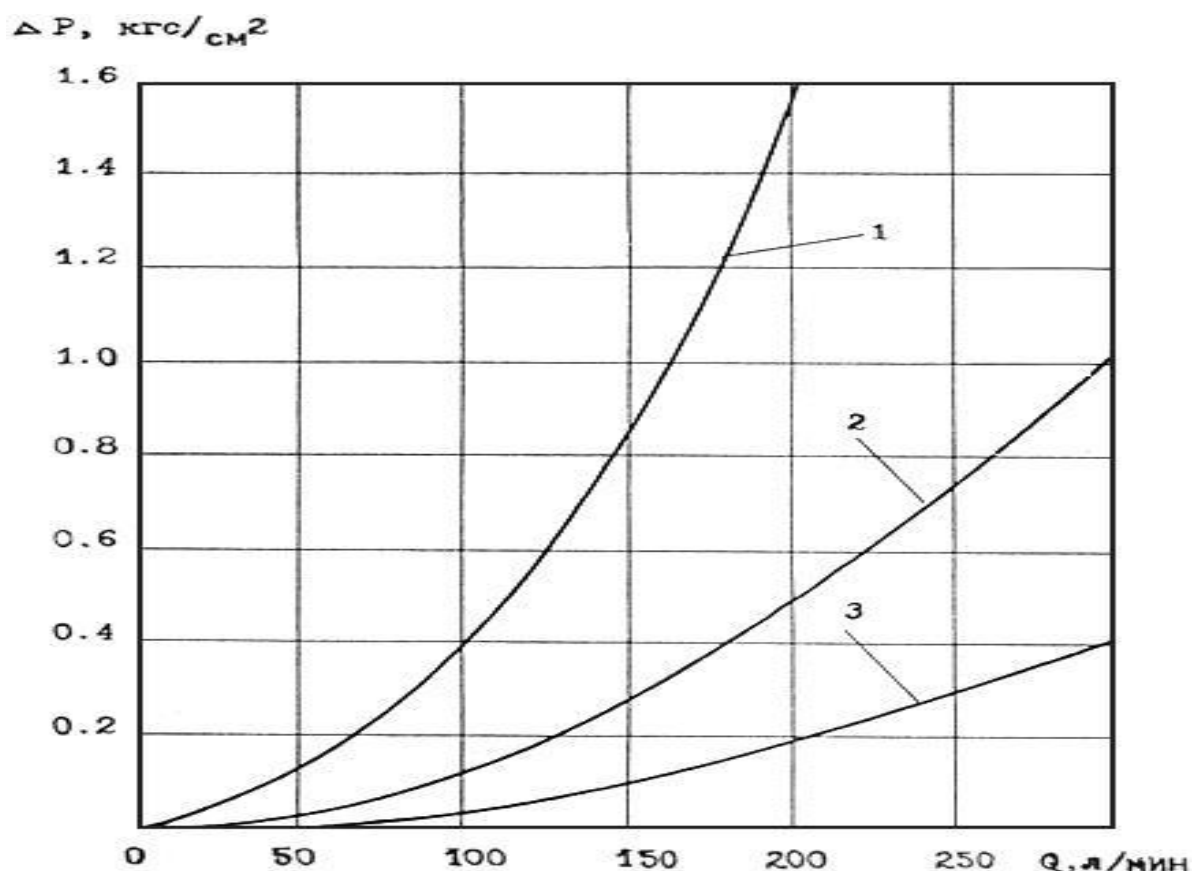


Рис. 7.1. Потери давления на единицу длины забойного водопровода: 1, 2, 3 - внутренний диаметр рукава соответственно 25, 32 и 38 мм.

Примечание: При подаче воды сверху вниз последнее слагаемое берется со знаком минус.

Давление жидкости на всасе оросительных насосных установок не должно превышать 1,5 МПа, а на всасе установок для нагнетания жидкости в пласт должно быть не менее 0,5 МПа.

Регулирование давления воды в оросительном устройстве должно производиться с помощью вентиля или задвижки на насосной установке или на отводе участкового пожарно-оросительного трубопровода. Для контроля давления воды за вентилем или задвижкой должен быть установлен манометр.

Для введения в воду смачивателя и пенообразователя должен быть установлен дозатор. При подаче воды насосной установкой дозатор должен быть подключен на ее всасывающей стороне.

Таблица 7.1 – Коэффициент одновременности работы однотипных потребителей

Наименование оборудования	Коэффициент одновременности при числе потребителей			
	1-2	3-5	5-10	Более 10
1	2	3	4	5
Выемочные машины и погрузочно-перегрузочные пункты	1,0	0,85	0,75	0,5
Бурильные машины, сверла, молотки	1,0	0,9	0,8	0,6
Установки для нагнетания воды в пласт	1,0	0,9	0,8	0,6
Водяные завесы	1,0	0,7	0,4	0,2
Опрокидыватели	1,0	1,0	0,95	-
Водозаборные пункты для обмывки выработок и заполнения сосудов водяных заслонов	0,5	0,3	0,3	0,3

Очистку шахтных вод для использования на технические нужды, включая борьбу с пылью, следует производить в соответствии с "Технологическими схемами очистки от взвешенных веществ и обеззараживания шахтных вод".я

7.4. Организация работ по борьбе с пылью и контроль качества применяемых мероприятий по борьбе с пылью

Организация работ по борьбе с пылью на шахте возлагается на технического руководителя (главного инженера) шахты.

Мероприятия по борьбе с пылью выполняются технологическими участками в закрепленных за ними выработках.

Ответственность за выполнение противопылевых мероприятий возлагается на начальника технологического участка, в ведении которого находятся выработки.

Начальник технологического участка совместно с начальником участка АБ определяет потребность и составляет заявку на оборудование, запасные

части, контрольно-измерительные приборы и материалы для борьбы с пылью.

Механик технологического участка обеспечивает техническое обслуживание и работу оборудования для борьбы с пылью, а также средств пылеподавления и пылеулавливания забойных машин в соответствии с руководствами по их эксплуатации и выполнение планово-предупредительных ремонтов, а главный механик шахты - ремонт указанного оборудования. Организация работ по водоподготовке и водоснабжению для целей пылеподавления возлагается на главного механика шахты.

Контроль выполнения противопылевых мероприятий и состояния средств борьбы с пылью на шахте, а также организация контроля запыленности воздуха в подземных выработках возлагается на участок ВТБ. При выявлении надзором шахты нарушений проведения мероприятий по борьбе с пылью принимаются меры по их устранению.

Применение противопылевых респираторов на рабочих местах осуществляется в соответствии с паспортом.

Для обеспечения мероприятий по борьбе с пылью, связанных с применением значительных количеств химических продуктов (смачивателя, пенообразователя и др.) на шахтах сооружают склады. Склад имеет емкость, равную полугодовой потребности в продукте.

Контроль качества применяемых мероприятий по борьбе с пылью включает: контроль проводимых мероприятий по борьбе с пылью, контроль состояния оборудования для пылеподавления, оперативный и периодический контроль состояния средств пылеподавления, находящихся в эксплуатации, контроль концентрации пыли в воздухе.

Оперативный производственный контроль осуществляется еженедельно надзором участка, в ведении которого находятся выработки, а также общешахтным надзором и надзором участка АБ при посещении выработок.

Периодический контроль производится не реже одного раза в месяц начальником или помощником начальника участка АБ совместно с начальником технологического участка (помощником или механиком участка).

Результаты контроля и устранения нарушений отражаются в книге нарядов участка АБ.

При оперативном контроле проверяется соответствие комплекса противопылевых мероприятий требованиям паспорта участка, состояние оборудования для борьбы с пылью, исправность его работы, состояние пожарно-оросительных трубопроводов и забойных трубопроводов, контроль концентрации пыли в воздухе.

При контроле средств пылеподавления проверяются:

наличие и исправность систем орошения на выемочных и погрузочных машинах, на передвижных и полустационарных погрузочных пунктах, в пунктах погрузки и перегруза на ленточных конвейерах;

наличие и исправность обеспыливающих завес на исходящей из забоев вентиляционной струе;

качество связывания отложившейся на почве пыли и просыпавшейся угольной мелочи на участках выработок с интенсивным пылеотложением.

Увлажненные до требуемого состояния пыль и угольная мелочь после сжатия в руке должны комковаться;

наличие и исправность водяных завес на выходе из укрытий опрокидывателей и погрузочных пунктов;

блокировка выемочной машины с оросительным насосом и управляемыми вентилями;

наличие предусмотренных проектом систем пылеотсоса на горных машинах или автономной пылеулавливающей установки. В системе пылеотсоса проверяется отсутствие видимых механических повреждений и соответствие конструкции паспорту (наличие защитных сеток на всасывающих патрубках, заземления металлических элементов трубопроводов для отвода запыленного воздуха). Эксплуатация системы прекращается при отсутствии подачи воды на пылеотсос;

правильность установки датчиков контроля концентрации пыли;

наличие орошения (промывки) при бурении шпуров и скважин;

наличие и использование рабочими противопылевых респираторов в местах, где установлено превышение ПДК пыли.

Исправность оросительной системы оценивается по отсутствию видимых механических повреждений и утечек воды в арматуре.

При обнаружении неисправностей или не использовании средств борьбы с пылью, а также при нарушении технологии проведения обеспыливающих мероприятий работы в выработке останавливаются и принимаются меры по их устранению.

При предварительном увлажнении угля в массиве контролируются:

состояние оборудования, которое оценивается по отсутствию видимых механических повреждений и утечек воды;

безопасность проведения работ по нагнетанию жидкости в пласт;
давление, создаваемое насосом, при нагнетании жидкости в пласт;
ведение журнала контроля и учета работ по нагнетанию жидкости в пласт.

В процессе нагнетания жидкости в пласт контролируется исправность насосной установки, герметизаторов, трубопроводов, манометров, проверяется наличие пломбы на предохранительном клапане насосной установки.

При работе насосной установки контролируются давление, количество жидкости, закачиваемой в скважину, и темп нагнетания жидкости. Давление воды определяется по манометру спустя 10-15 мин после начала нагнетания, количество воды – по показаниям водомера.

Темп нагнетания рассчитывается по количеству жидкости, закачиваемой в скважину (шпур) в течение не менее 10 мин. Эти параметры регистрируются в «Журнале контроля и учета работ по нагнетанию воды в пласт», оформленному в соответствии с требованиями Инструкции завода – изготовителя.

При бурении скважин (шпуров) для предварительного увлажнения угольного массива контролируются их направление и глубина, расстояние между ними, исправность бурового станка, бурового инструмента и др.

В оросительных системах выемочных и проходческих комбайнов проверяются исправность и работа оросительных устройств, оросителей, средств блокировки орошения, отсутствие утечек воды в забойном трубопроводе, исправность устройств для промывки в штрековом и комбайновом фильтрах, наличие смачивателя в дозаторе.

Оросительные устройства на погрузочных пунктах, конвейерных пересыпах, опрокидывателях, а также средства промывки или орошения при бурении шпуров и скважин контролируются на отсутствие утечек воды и механических повреждений. Работа водяной завесы в подготовительных выработках контролируется визуально по наличию плотного облака диспергированной воды во всем сечении выработки.

На погрузочных пунктах, конвейерах, в вагонетках контролируется влажность угольного штыба. При достаточной влажности штыб после сжатия в руке не рассыпается.

При применении пылеулавливания контролируется отсутствие внешних механических повреждений укрытий и пылеулавливающих установок. При работе пылеулавливающей установки проверяется наличие выпуска воды (шлама) из шламоотделителя. Решетки на отсасывающих патрубках и сами патрубки контролируются на отсутствие штыба и пыли.

В выработках с отрицательными температурами контролируются меры предотвращающие замерзание воды в оросительных водопроводах (наличие циркуляции, подогрева и слива воды и др.).

В конвейерных выработках, у пунктов погрузки угля из лавы, на призабойных участках подготовительных выработок и в других местах интенсивного пылеотложения контролируют наличие отложений сухой пыли.

При периодическом контроле проводится оценка соответствия фактических параметров применяемых способов и средств борьбы с пылью проектным значениям, указанным в паспорте с помощью контрольно-измерительных приборов (манометров, счетчиков-расходомеров, водомеров, влагомеров и др.). В случае выявления нарушений выдаются предписания соответствующим службам по их устранению.

В оросительных устройствах очистных и проходческих комбайнов проверяется соответствие паспорту числа и типа оросителей, расхода и давления жидкости. Давление жидкости у оросителей замеряют манометром, установленным в гнездо вывернутого на время замера оросителя через 5 мин после пуска насосной установки.

При работающей насосной установке контролируется отсутствие сбрасывания воды на слив и утечек воды в оросительном трубопроводе.

При работе водяных и туманообразующих завес контролируется давление воды в соответствии с паспортом. Визуально контролируется качество распыления воды и полнота перекрытия факелом сечения выработки.

7.5. Контроль концентрации пыли в воздухе

Предельно допустимые концентрации (ПДК) запыленности воздуха составляют:

для пыли породной с содержанием кристаллического диоксида кремния более 70 % - 1 мг/м³;

для пыли породной и углепородной с содержанием кристаллического диоксида кремния от 10 до 70 % - 2 мг/м³;

для пыли породной и углепородной с содержанием кристаллического диоксида кремния от 5 до 10 % - 4 мг/м³;

для пыли антрацитов с содержанием свободного диоксида кремния до 5 % - 6 мг/м³;

для пыли угольной и углепородной с содержанием свободного диоксида кремния до 5 % - 10 мг/м³.

Для обеспечения безопасности по пылевому фактору в горных выработках угольных шахт устанавливаются следующие виды пылевого контроля:

автоматический контроль запыленности воздуха стационарными датчиками, встроенными в систему АГК;

оперативный контроль запыленности воздуха с целью проверки эффективности мероприятий по борьбе с пылью;

периодический контроль запыленности воздуха с целью проверки соответствия параметров применяемых мероприятий по борьбе с пылью проектным решениям;

периодическое определение содержания свободной двуокиси кремния в витающей пыли для установления ПДК;

определение ТДУ для установления нормативных значений концентрации пыли в воздухе горных выработок при выполнении всех проектных мероприятий по борьбе с пылью.

Контроль запыленности воздуха осуществляется в соответствии с проектом:

а) в исходящих струях тупиковых выработок;
б) в исходящих струях очистных выработок;
в) в поступающих в очистные выработки струях при последовательном проветривании;

г) в исходящих струях выемочных участков пластов пологого и крутого залегания;

д) в выработках, оборудованных конвейерным транспортом;

е) в исходящих струях крыльев и шахт;

ж) в местах погрузки и перегруза угля;

з) при проходке или углубке вертикальных стволов - в исходящей из ствола вентиляционной струе и у проходческих полков.

Для осуществления непрерывного автоматического контроля содержания пыли стационарные датчики контроля запыленности воздуха устанавливаются:

а) в исходящих струях тупиковых выработок – на расстоянии 10–20 м

от водяной завесы под кровлей на стороне, противоположной вентиляционному трубопроводу, по ходу движения вентиляционной струи;

б) в исходящих струях очистных выработок – в 10–20 м от водяной или лабиринтно-тканевой завесы у стенки, противоположной выходу из лавы, в верхней части выработки по ходу движения вентиляционной струи;

в) в местах перегруза угля и в местах погрузки угля – в 5–7 м от места перегруза или погрузки по ходу вентиляционной струи в верхней части выработки;

г) в исходящих струях выемочных участков – в 10–20 м от ходка, уклона, бремсберга или промежуточного квершлага;

д) в поступающих струях очистных выработок при последовательном проветривании – на расстоянии не более 5 м от лавы в верхней части сечения выработки на стороне, противоположной лаве.

Необходимость автоматического воздействия системы АГК на оборудование электроснабжения при обнаружении недопустимой запыленности определяется проектными решениями по АГК. Автоматическое отключение электроэнергии, подаваемой на оборудование, являющееся источником пылевыделения (конвейер, комбайн и пр.) осуществляется при двукратном превышении ТДУ запыленности воздуха в течение 10 минут. ТДУ определяются для соответствующего места установки датчиков для очистных и подготовительных забоев при вводе их в эксплуатацию.

При отсутствии установленных ТДУ запыленности воздуха система АГК, контролирующая запыленность воздуха блокирует работу электрооборудования, являющегося источником пылеобразования, при запыленности воздуха:

а) более 150 мг/м³ в исходящих вентиляционных потоках очистных и подготовительных забоев, а также в 50 метрах от пунктов перегруза угля по движению вентиляционной струи воздуха;

б) более 10 мг/м³ (ПДК) в основных транспортных выработках с рельсовой и дизельной откаткой, в выработках околоствольного двора.

Подача напряжения на электрооборудование контролируемого объекта после его блокировки по запыленности осуществляется после снижения концентрации пыли ниже предаварийного уровня.

Система АГК обеспечивает:

а) автоматическое непрерывное измерение концентрации пыли в рудничной атмосфере, телеизмерение осуществляется от всех датчиков пыли;

б) телесигнализацию при превышении концентрацией пыли пороговых значений в любой точке контроля и при отказе датчиков запыленности;

в) местную световую и (или) звуковую сигнализацию в соответствии с проектными решениями по системе АГК.

Оперативный контроль запыленности воздуха осуществляется ежедневно, периодический – не реже одного раза в месяц. Оперативный контроль осуществляется с помощью приборов работниками шахты. Периодический контроль запыленности воздуха производится в соответствии с графиком, который за 15 дней до начала квартала составляется начальником участка АБ, согласовывается с ВГСЧ и утверждается техническим руководителем (главным инженером) шахты. Отбор проб для периодического контроля запыленности воздуха и свободной двуокиси кремния выполняется работниками ВГСЧ в присутствии специалиста участка АБ.

Измерение запыленности воздуха проводится при применении способов и средств борьбы с пылью, предусмотренных паспортом при установившемся производственном процессе. Количество измерений (проб) - не менее 5, выполненных через равные промежутки времени. По результатам измерений вычисляется средняя концентрация пыли.

Измерение запыленности воздуха при оперативном, периодическом контроле, для оценки пневмокониозоопасности и определения ТДУ проводится в следующих местах:

- при выемке угля комбайном из пологих пластов - в 10-15 м от комбайна по направлению движения воздуха, на рабочих местах машиниста комбайна и машиниста крепи, на исходящей из лавы вентиляционной струе, до и после обеспыливающей завесы; при челноковой схеме работы комбайна измерение запыленности производится в обоих направлениях выемки, а результаты замеров усредняются;

- при выемке угля комбайнами из крутых пластов при восходящем проветривании - на вентиляционном штреке в 10-15 м от забоя лавы, а при нисходящем проветривании - на исходящей из очистной выработки вентиляционной струе в 10-15 м от основной вентиляционной печи;

- при выемке угля стругами из пологих и наклонных пластов в лаве - на исходящей из лавы вентиляционной струе, до и после обеспыливающей завесы;

- при щитовой выемке из крутых пластов - на рабочем месте машиниста;

- при подготовке ниш и бурении скважин в очистной выработке - на рабочих местах;

- на выбросоопасных пластах при дистанционном управлении машиной - на рабочем месте машиниста и на вентиляционном штреке;

- в подготовительной выработке при бурении и погрузке - в 5-10м от забоя со смещением к борту выработки, противоположноу вентиляционному трубопроводу, и на рабочем месте машиниста погрузочной машины;

- в подготовительной выработке при работе комбайна - в 30 м от комбайна, на рабочих местах машиниста и его помощника, до и после обеспыливающей завесы;

- в конвейерной выработке - в 10-15 м от пункта перегрузки угля с конвейера на конвейер по направлению движения воздуха;

- у стационарных погрузочных пунктов, опрокидывателей - на местах работы машиниста опрокидывателя и люкового;

- в воздухоподающих выработках - в 10-15 м от устья ствола в околоствольном дворе, а также на штреках - в 10-15 м до очистной выработки;

- в вентиляционных штреках очистных участков - в 10-15 м от пылеподающих завес по ходу исходящего из лавы воздуха.

Установленные значения ТДУ являются предельными величинами при ведении производственного контроля.

Количество приборов контроля концентрации пыли на шахте определяется из условия: один прибор на маршрут участка АБ и один резервный прибор, но не менее 5 шт. на шахту.

Технический руководитель (главный инженер) шахты по результатам измерений запыленности воздуха принимает меры по улучшению пылевой обстановки и соблюдению ПДК или ТДУ.

Применяемые противопылевые респираторы обеспечивают защиту органов дыхания в запыленной среде не менее 6 час при эффективности пылезадержания не менее 99,9 %. Противопылевые респираторы применяются в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Ежемесячно специалистами участка АБ, назначенными приказом по предприятию, осуществляется проверка находящихся в эксплуатации противопылевых респираторов. Результаты проверки оформляются актом.

7.6. Вопросы для самоконтроля

1. Пылеподавление на передвижных и полустационарных погрузочных пунктах.
2. Борьба с пылью при работе опрокидывателей и загрузочных устройств.
3. Очистка и обеззараживание воды в подземных условиях для целей пылеподавления.
4. Организация работ по борьбе с пылью и контроль качества применяемых мероприятий по борьбе с пылью.
5. Контроль концентрации пыли в воздухе горных выработок.

8. ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ВОЗДУХА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПОВЕРХНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

8.1. Запыление воздушной среды на технологическом комплексе поверхности угольных шахт

Уголь выдается на поверхность шахты и в соответствии с принятой технологией обработки из приемных устройств транспортируется на сортировку, дробление, обогащение, складирование или отгрузку потребителю. Кроме полезного ископаемого из шахты поступает порода: прием и транспортирование породы от места ее выдачи до погрузочного пункта, погрузка породы в транспортные средства, транспортирование к месту отвала и его формирование [2, 7, 68, 72, 73, 75-77].

Для выполнения этих и других вспомогательных технических операций на угольных предприятиях сооружается единый поверхностный технологический комплекс, который служит для обработки полезного ископаемого. Последовательность операций при работе комплекса показана на рис. 8.1.

Прием угля, дробление, грохочение - операции, которые обеспечивают первичную обработку горной массы. При любой схеме расположения аппаратов для выполнения этих операций главными связующими звеньями являются транспортные средства. На их долю приходится около 60 % от общего числа оборудования, причем до 95 % этих средств составляют ленточные конвейеры. Наиболее высокая запыленность наблюдается в местах вы-

грузки угля из бункера, где при отсутствии мер пылеподавления она может достигать нескольких тысяч миллиграммов в одном кубическом метре.

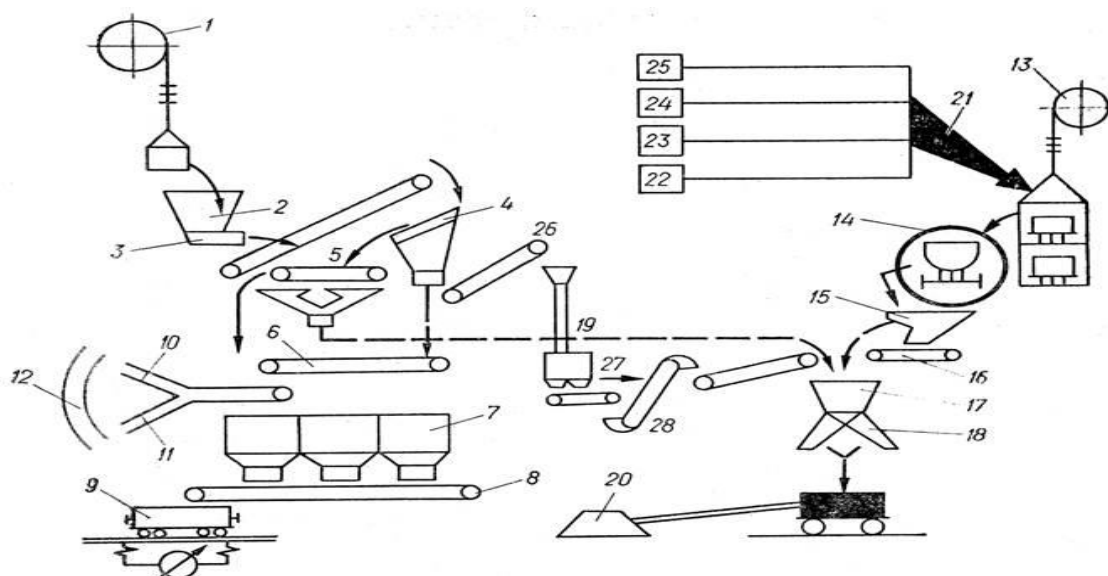


Рис. 8.1 – Схема работы технологического комплекса поверхности шахт:

1 - выдача полезного ископаемого из скипового ствола; 2 - аккумулярование в бункерах; 3 - перегрузка питателем; 4 - грохочение; 5 - породоотборка; 6 - транспортировка в бункер; 7; 8 - погрузка полезного ископаемого в железнодорожные вагоны; 9;10 - передача угля на склад; 12; 11 - вывоз полезного ископаемого со склада; 13 - выдача вагонеток с породой; 14 - опрокидывание породы в бункер; 18 - подача породы в загрузочное устройство рельсовой или канатом дороги через питатель 16 и бункер 17; 19 - транспортировка породы с угольной сортировки в породный отвал 20; 21 - транспортировка грузов от материального склада 22, мастерских 23, склада крепежных материалов 24 и склада ВВ 25 к стволу; 26 - подача угля в котельную 27; 28 - выдача золы из котельной.

Доля выгрузки из бункера и загрузки углем вагонов в общем балансе пылевыведения составляет до 85 %. При прочих равных условиях интенсивность пылевыведения у перегрузочных узлов повышается с увеличением плотности загрузки, высоты и угла наклона желоба, степени раздробленности угля. Существенный фактор, влияющий на пылевыведение - влажность угля. При увеличении скорости движения лент до 2 м/с происходит выделение пыли в результате сдувания ее воздухом, просыпания угольной мелочи при движении холостой ветви конвейеров, измельчения угля между лентой и барабаном и др.

8.2. Пылеулавливание на технологическом комплексе поверхности угольных шахт

Все технологическое оборудование (бункеры, питатели, дробилки, грохоты, перегрузочные и загрузочные узлы конвейерных линий и др.)

должно быть оснащено системами аспирации, предусматривающими герметичные пылезащитные укрытия всех источников и отсос запыленного воздуха с очисткой его от пыли в аппаратах пылеулавливания [2, 7, 69, 70, 78-84, 86, 87].

Указанные средства борьбы с пылью должны предусматриваться на стадии проектирования или реконструкции поверхностного комплекса шахт в проектах, разрабатываемых специализированными организациями.

Аспирационные системы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- иметь минимальные площади открытых рабочих проемов и неплотностей, причем последние должны быть максимально удалены от зон повышенного давления;

- обеспечивать оптимальную скорость в спектре всасывания над слоем транспортируемого материала (0,25-0,5 м/с);

- иметь надежные уплотнительные элементы, особенно на контакте с подвижными частями оборудования;

- иметь блокировку, исключающую возможность работы пылящего оборудования при выключенной аспирационной системе.

Укрытия мест перегрузки горной массы на ленточных конвейерах должны обеспечивать отделение запыленного воздушного потока от транспортируемого материала с помощью специальных фартуков или клапанов, позволяющих уменьшить унос мелких фракций угля в аспирационную систему. Конвейеры должны быть оборудованы устройствами для очистки холостой ветви от налипающего на ленты штыба.

Для очистки отсасываемого воздуха, как правило, должны применяться мокрые пылеуловители. В стесненных условиях могут применяться циклоны.

Если аспирационные системы не обеспечивают снижение запыленности воздуха в помещениях технологических комплексов до уровней ПДК и влажность подаваемого из шахт угля ниже предельно допустимой (нормативной), должно применяться орошение горной массы водой с добавками смачивателей или пароводяным туманом, при этом оросители необходимо устанавливать вдали от воздухоотсасывающих конфузоров для предотвращения попадания в аспирационные системы капель воды. Средства орошения должны быть заблокированы с технологическим оборудованием. Для автоматизации включения (выключения) орошения может использоваться взрывобезопасный электромагнитный выключатель орошения.

Общий расход жидкости на увлажнение горной массы по всем технологическим процессам определяется по формуле:

$$oq_0 = 0.01 G (Wn - Wв), \quad (8.1)$$

где: q_0 - расход воды, м³/ч;

G - производительность технологической линии, т/ч;

Wn - предельно допустимая влажность угля, %;

$Wв$ - влажность подаваемого угля, %.

Жидкость для увлажнения (орошения) угля должна подаваться перед поступлением его в бункеры и на выходе из них, а также на выходе из-под укрытий конвейеров.

Давление жидкости перед водяными оросителями составляет не менее 0,5 МПа, перед пароводяными оросителями - 0,6-1 МПа, давление пара - не менее 0,2 МПа. Факелы орошения направляют навстречу потоку угля.

При эксплуатации аспирационных систем необходимо строго поддерживать величину неплотностей укрытий, принятую в проекте. При изменении зазоров в процессе эксплуатации укрытий необходимо пересчитать требуемое количество отсасываемого воздуха.

Аспирационные системы осматриваются не реже одного раза в неделю, места нарушения герметизации исправляются.

Аспирационные системы должны регулярно (не реже одного раза в неделю) осматриваться, места нарушения герметизации немедленно исправляться. Для предотвращения забивания воздухопроводов пылью поддерживают скорости воздуха в трубопроводах в пределах проектных величин, исключают попадания в аспирационные системы капель жидкости, включают в работу аспирационные системы с опережением на 5-10 мин., а выключают на 5-10 мин. позднее технологического оборудования.

Для обеспыливания воздуха в процессе разгрузки угля на открытый склад при положительной температуре воздуха применяют орошение места падения угля водой с добавкой смачивателя. Орошение производится с помощью оросителей при давлении жидкости не менее 0,5 МПа и расходе не менее 2 л/т. В зимнее время предусматриваются дополнительные мероприятия по укрытию, аспирации и т.п. мест пылевыделения.

Высота падения угля при разгрузке должна быть минимальной за счет использования телескопических желобов или труб. Территория по-

верхностного комплекса должна быть озеленена. Дороги должны иметь твердое покрытие.

Не допускаются скопления угольной пыли в сортировках, галереях, эстакадах [69, 70]. Уборка сортировок, галерей и эстакад должна производиться не реже двух раз в месяц. Бункеры должны содержаться в полной исправности. Целостность металлической внутренней обшивки и исправность затворов должна проверяться не реже двух раз в месяц.

Бункеры должны полностью освобождаться от угля не реже двух раз в месяц. При этом необходимо производить очистку от скопления мелкого угля и угольной пыли. В холодный период года оттаивание замерзших бункеров с использованием открытого огня (газорезы, паяльные лампы и др.) не допускается. О произведенной очистке бункеров от угольной пыли и мелкого угля, а также о результатах проверки их исправности делается запись в журнале контрольных осмотров.

8.3. Пылевой фактор породных отвалов

Всего при функционировании шахт и обогатительных фабрик на территории угледобывающих регионов складировано около 4 млрд. т породы, которая размещена в отвалах, в том числе – горящих. В этом случае выбрасывается в атмосферу более 300 тыс. т загрязняющих веществ. Ежегодно с поверхности одного террикона выдувается приблизительно 400 т породной пыли и вымывается около 8 т солей. Процессы пылеобразования и газовыделения вредных веществ в атмосферу усиливаются во много раз при горении породных отвалов. В некоторых шахтерских городах (Макеевка, Донецкая область шахтоуправление «Холодная балка») плотность размещения породных отвалов такова, что зоны распространения продуктов горения, выветривания и вымывания отдельных отвалов смыкаются между собой и создают зону постоянной экологической опасности. Нормы загрязнения атмосферы нарушаются постоянно – ведь по экономическим причинам практически отсутствуют технологические решения по снижению выдачи породы на поверхность за счет размещения ее в выработанном пространстве [1,2, 68, 78-84,86, 87].

За весь период работы угольных шахт в Донецкой области образовалось 582 породных отвала, 132 из которых продолжают гореть, а работы по их тушению практически не ведутся. В эксплуатации находятся 125 терриконов, 60 из которых горят. С терриконов в атмосферу выбрасывается более

чем 65 000 тонн вредных веществ в год. Площадь поверхности каждого такого отвала около 0,12 км², а зона распространения продуктов горения простирается в радиусе 3 км. В этом случае в атмосферу попадает большое количество веществ. Следует отметить, что в состав породы входят, по данным Укргеологии: зола – 57,05%, выход летучих веществ – 29,62%, сера – 1,576% и оксиды – 11,74%. Особо следует отметить, что доля в оксидах SiO₂ – 46,04%; F₂O₃ – 20,52%; Al₂O₃ – 11,58% и т.д. По данным исследователей порода отвалов содержит галлий – до 100 г/т, скандий – 15 г/т, германий – 30 г/т [68]. Исследованиями ДонНТУ установлено, что площадь боковой поверхности породного отвала конической формы является показателем степени его экологической опасности и определяется из выражения.

В настоящее время установлено, что с 1 га поверхности террикона ветром сдувается до 10 тонн пыли, водными потоками сносится более 35 тонн мелкозема, значительное количество водорастворимых солей, радионуклидов и тяжелых металлов. На расстоянии 0,5 км по периметру отвалов черноземы полностью утрачивают свои свойства на глубину до 0,6 м, в зоне до 5 км происходит накопление тяжелых металлов, потеря гумуса, деградация почв [30, 68, 78, 84]. Изучению вопросов выноса компонентов породы в результате ветровой и водной эрозии их поверхности посвящен ряд современных работ [30, 40, 68, 78-84, 86, 87]. Эти исследования являются наиболее полными, рассматривающими вопросы загрязнения окружающей среды в результате ветровой и водной эрозии поверхности породных отвалов.

Не менее существенным негативным воздействием является самовозгорание и горение породного отвала, вследствие содержания в отвальной массе горючих веществ. Горящие породные отвалы являются одним из основных источников загрязнения атмосферы вредными газами. Среди 234 действующих породных отвалов в 2007 году горело 63, то есть 26,9%. По экспертной оценке [68, 78, 84] только один интенсивно горящий отвал является источником выделения в атмосферу от 25 до 250 тонн загрязняющих веществ в год: оксида углерода, диоксида серы, сероводорода и оксидов азота, которые в десятки раз превышают допустимые нормы.

Проблема предотвращения самовозгорания осадочных горных пород и тушения пожаров является одной из наиболее актуальных в жизни и производственной деятельности густонаселенных углепромышленных районов Донбасса. В настоящее время нет единого мнения о природе самовозгорания осадочных горных пород. Многие специалисты считают, что причиной

самовозгорания пород является их взаимодействие с кислородом атмосферного воздуха.

На сегодняшний день шахтерские регионы с их предприятиями угольной промышленности классифицируются как зоны повышенной экологической опасности. Одной из главных её составляющих являются отвалы горных пород, которые десятилетиями складировались на шахтных терриконах, и сейчас выделяют в атмосферу до 70 тыс. т вредных веществ в год. К тому же, полигоны и терриконы отходов занимают площадь около 165 тыс. га, а это около 2,5 % территории Украины. По данным Института экологической гигиены и токсикологии Украины [68], ежегодно на каждого украинца приходится более 95 кг вредных веществ. В связи с деятельностью угледобывающих предприятий экологическая нагрузка на биосферу Донбасского региона самая большая в Европе. Сотни шахт были основным источником разрушения и истощения окружающей среды [45, 54, 68, 84, 86, 87]. За последние 15 лет многие шахты уже прекратили свою деятельность или определены для закрытия. Для многих шахт закрытие происходит преждевременно: до полной выработки угольных запасов и без разработки необходимых планов по закрытию, которые учитывают вопросы безопасности, экологической и социальной ответственности [30, 68, 78, 86, 87]. Также нерешенным остается вопрос технологических отходов угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий. Последние данные по породным отвалам Украины следующие: – Донецкий регион – 52 закрытых/закрывающихся шахт, 69 из 177 отвалов горящие; – Луганский регион, 36 закрытых/закрывающихся шахт, 34 из 244 отвалов горящие.

Изучение влияния твердых отходов шахт на экологию проводится сотрудниками УкрГГРИ в рамках реализации программы мониторинга и научного сопровождения объектов недропользования с 2012 года. Первый опыт таких работ получен при исследовании недействующего горящего отвала одной из шахт города Ровеньки Луганской области. Породный отвал имеет форму усеченного конуса высотой 43 м и занимает площадь около 37 000 м². Вначале были изучены история его формирования и паспортные данные. Проведены исследования возможного состава слагающих его пород и рассмотрены результаты температурных съемок последних лет. Составлены карты-схемы распределения температур и вынесены участки горения и нагревания породного отвала, прогнозные участки самовозгорания пород, намечены точки отбора проб и проведено опробование. Поскольку выпол-

ненная работа относится к начальному этапу исследований, она имела рекогносцировочный характер.

Таким образом, анализируя данные о превышении содержаний токсичных элементов в породах отвалов, состояние самих отвалов (наличие участков горения и тления, объемы породной массы и возраст отвалов), а также информацию о негативных изменениях в организме человека, которые возникают при длительном воздействии названных химических элементов, можно с уверенностью сказать, что рост количества заболеваний аллергического и воспалительного характера кожных покровов и дыхательных путей напрямую связан с проблемой технологических отходов угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности Донбасса [45, 68, 78, 86, 87]. Наличие повышенного содержания токсичных элементов было рассмотрено на примере одного из угледобывающих предприятий г. Ровеньки. Надо сказать, что по данным мониторинга других шахт ситуация с отходами практически аналогична по всему Донбассу. Из негативных факторов, влияющих на экологическую ситуацию в регионе, главными являются такие: колоссальные объемы породы, свозимой на отвалы, увеличение температур горения отвалов до 800–900 °С и более, отсутствие мероприятий по тушению, переработке породы с отвала, а также несовершенство системы рекультивации нарушенных земельных угодий. Кроме того, наблюдается непосредственная близость породных отвалов с жилыми массивами, полями, пастбищами и водными ресурсами, что оказывает весьма неблагоприятное влияние на названные объекты. Ситуацию усугубляет еще и то, что зачастую отработавшую перегоревшую породу используют для отсыпания дорог в зимнее время. С приходом весны вся порода разносится по территории шахтных поселков. Такая картина повторяется из года в год на протяжении последних десятилетий, и на сегодня мы имеем в каждом шахтном городке мощный слой токсичной породы с отвала под ногами.

Порода из шахт выдается либо скипами, либо в вагонетках (первый способ более прогрессивный - снижаются затраты на тонну выдаваемой породы) и грузится в транспортные сосуды или переправляется ленточными конвейерами на погрузочные пункты. Перевозят породу к местам отвалообразования следующими видами транспорта: рельсовым узкоколейным по наклонному пути, канатными дорогами маятникового и кольцевого типа, автомобильным, железнодорожным.

Применяемый вид транспорта определяет форму отвалов и характер их формирования: при рельсовом узкоколейном транспорте по наклонному пу-

ти образуются конические отвалы (терриконики), с помощью подвесных канатных дорог формируются хребтовые отвалы, автомобильным и железнодорожным транспортом отсыпают породу в плоские отвалы.

Во время транспортировки и отсыпки породы в отвал выделяется пыль. При ветреной погоде загрязнение воздуха увеличивается [71, 75, 76]. По оценкам исследователей [72, 77] воздушная среда поверхностного комплекса шахты каждую минуту, в среднем, наполняется отработанным вентиляционным воздухом в объёме, примерно, 200 тыс. м³ с концентрацией пыли, примерно, (5-7)мг/м³, что в течение суток составляет выброс 1,5 тонны пыли. Частицы размером более 10 мкм оседают в неподвижном воздухе с возрастающей скоростью и не диффундируют, размером 0,25-10 мкм оседают в воздухе с постоянной скоростью, размером менее 0,25 мкм находятся в непрерывном броуновском движении и энергично диффундируют.

В настоящее время практически всю породу, выдаваемую на поверхность шахты складировать в отвалы [73, 74, 76, 77]. Таких отвалов около 2,1 тыс. (из них примерно 1,5 тыс. в Донбассе). В отвалах насчитывается более 2,5 млрд. т. породы, вместе с которой туда попали горючие вещества (уголь, углистые сланцы, пирит). Содержание углистого вещества в выдаваемых из шахт породах значительно колеблется (по Донецкому бассейну - от 5 до 15%). В Донбассе потери угля с отвальной массой составляют 2,9 млн. т в год. В основном это уголь мелкого класса.

Вместе со сростками породы, углистыми и сернистыми породами уголь образует массу, склонную к окислению, в результате которого происходит ее самонагревание и самовозгорание в отвалах.

Следует иметь в виду, что не только состав, но и строение отвалов влияет на самовозгорание массы. Наиболее благоприятные условия для этого создаются на терриконах и хребтовых отвалах, у которых при сегрегации горючие вещества накапливаются в верхней части отвала и имеется достаточный приток воздуха. Самовозгорание может возникнуть и от внешних причин (источники огня).

Горение породы на действующих отвалах носит очаговый устойчивый характер и может продолжаться годами и даже десятилетиями, атмосфера загрязняется вредными газами (CO, SO₂, NO_x, H₂S, и др.) [73-76, 82]. При этом температура в зоне горения может достигать 800 - 1200 °С, а в атмосферу выделяются ежегодно тысячи тонн оксидов углерода, сотни тонн диоксида серы и сероводорода, десятки тонн оксида азота, образуется много золы, в состав которой входят оксиды фосфора, мышьяка и более 60 микро-

элементов, среди которых одни (ртуть, бериллий, кобальт, титан) уносятся в атмосферу, другие обогащают тело отвала (фосфор, молибден, хром, мышьяк, свинец, литий и др.), третьи выщелачиваются атмосферными осадками, загрязняют почву и другие природные среды. Загрязнение почвы выбросами в атмосферу происходит также в связи с оседанием твердых частичек выбросов (зола, пыль, сажа), поглощением газов почвой захватом загрязнений облаками с последующим вымыванием осадками и зависит; от особенностей источников загрязнения, метеорологических особенностей региона, геохимических факторов ландшафтной обстановки в целом.

В ходе переноса промышленных выбросов техногенным потоком имеет место трансформация материалов-загрязнителей. Вещества загрязнители, создавая техногенные потоки, могут распространяться на значительные расстояния от источника (до 40 км), образуя при взаимодействии с осадками кислотные дожди. Пирит, служащий основным источником поступления в почву серной кислоты, быстро окисляется и воздействует на почву непосредственно вблизи источника загрязнения [74, 76, 77].

Растворы, которые проникают в почву с отвалов, нередко имеют высокие концентрации серной кислоты, сульфатов, что способствует переходу отдельных элементов в подвижные формы. Более устойчивые к выветриванию уголь и углефицированная порода переносятся на значительные расстояния и служат источником поступления в почву серы и тяжелых металлов. Это объясняется тем, что в результате воздействия на поверхность отвалов температуры, осадков, ветра, внутреннего тепла крупные куски породы рассыпаются до размеров пыли, которую в сухую погоду сдувает ветер и уносит на значительные расстояния, загрязняя атмосферу. Имеет место ветровая эрозия. В 150 м от отвала концентрация пыли при скорости ветра 3,5 м/с и влажности воздуха 90 % может достигать 10-15 мг/м³.

Эрозийному процессу способствуют оползновения отвалов, возникающие вследствие их горения, переувлажнение пород осадками, перегрузки оснований. При этом вскрываются полости очагов горения, места скопления перегоревшей породы, тонкой дисперсной пыли и вредных газов. Ветровой эрозии подвергаются большинство отвалов, расположенных на территории Донбасса, что увеличивает запыленность и загазованность атмосферы региона.

По характеру и степени техногенного загрязнения выбросами в атмосферу в зоне действия угледобывающей промышленности выделяются три зоны [45, 68, 72, 73, 75].

- зона максимального непосредственного загрязнения, 0,1-0,5 км от источника загрязнения (вокруг отвала, например, концентрации диоксида углерода и оксидов, серы на расстоянии 300 м от горящего отвала могут достигать 125 и 1,65 мг/м³ соответственно. Чернозем утрачивает по всем параметрам присущие ему свойства до глубины 60 см;

- транзитная, 0,5-2 км; характерно повышенное содержание серы, декальцинация поглощающего комплекса до глубины 40 см;

- аккумулятивная, 2-5 км; выделяется повышенным содержанием углерода тяжелых металлов в пахотном горизонте почвы.

"Кислотные" дожди, которые образуются при избытке в атмосфере соединений серы, азота и углерода, поступая в почву региона, способствуют вымыванию катионов кальция и появлению поглощенного водорода, что приводит, прежде всего, к ухудшению физических свойств этих и без того бедных кальцием почв. Чернозёмы Донбасса, подвергшиеся техногенному загрязнению, приобретают нехарактерную для них кислую реакцию. Известно, что почвы обладают способностью депонировать загрязняющие вещества и могут быть длительное время вторичным источником загрязнения. Загрязнение атмосферы и почвы грунтов сказывается на состоянии водной среды. Кроме того, подземные и поверхностные воды имеют гидравлическую взаимосвязь, в результате чего загрязнение поверхностных вод токсичными и вредными химическими веществами влечет за собой загрязнения подземных вод и наоборот.

8.4. Вопросы для самоконтроля

- 1.. Запыление воздушной среды на технологическом комплексе поверхности шахт.
2. Пылеулавливание на поверхностных комплексах шахты.
3. Пылевой фактор породных отвалов.

9. ПЫЛЕВОЙ ФАКТОР ПРИ ОБОГАЩЕНИИ УГЛЯ

9.1. Общие положения

Загрязнение воздушного бассейна угольными обогатительными фабриками в процессе их эксплуатации производится выделениями в атмосферу пыли и газов [82, 83]. Источниками указанных загрязнений являются процессы дробления, измельчения, транспортирования сухого материала, сушки, обжига продуктов окускования концентратов, переработки полезных ископаемых, механического и самотечного транспортирования угля и продуктов обогащения, а также в результате процессов, происходящих в хвостохранилищах и пыленакопителях [1, 78, 79].

Наиболее интенсивным пылеобразованием сопровождается перегрузка высушенного концентрата с большим содержанием тонких фракций. Транспортирование высушенного концентрата сопровождается интенсивным парообразованием, которое усложняет обеспыливание.

Предприятия по обогащению угля (обогатительные фабрики (ОФ)) содержат в своем составе производственные объекты с повышенными уровнями запыленности и пылеотложения: склад рядового угля; бункер приема горной массы, помещения питателя; подземные и закрытые части транспортных тоннелей и галерей; здания углеподготовки (дробления, грохочения); основные производственные помещения; склад концентрата; тоннель под складом концентрата с загрузочными устройствами; галереи до пункта погрузки концентрата на железнодорожный транспорт, а также объекты по удалению кека и отходов [79-81].

Наиболее интенсивным пылеобразованием сопровождается перегрузка высушенного концентрата с большим содержанием тонких фракций. Запыленность в этих местах достигает 40 мг/м^3 . Кроме интенсивного пылеобразования, транспортирование высушенного концентрата сопровождается еще и интенсивным парообразованием, которое усложняет обеспыливание. На фабрике с сухими методами обогащения источниками пылеобразования являются места перегрузки продуктов обогащения с дек сепараторов и пневматических отсадочных машин на сборные конвейеры и при дальнейшей транспортировке. Число таких пересыпок на фабрике колеблется от 70 до 100, а запыленность в этих местах до $200\text{-}300 \text{ мг/м}^3$. Интенсивность пылеобразования зависит от многих факторов: физико-механических свойств пере-

рабатываемого угля, таких, как хрупкость, крупность и влажность; способа перемещения угля и продуктов его обогащения; движения и влажности воздуха, а также герметичности пылевыведяемого оборудования [79, 84].

При грохочении на качающихся, валковых, вибрационных и резонансных грохотах, вследствие скачкообразного движения отдельных кусков по просеивающей поверхности, происходят их значительное измельчение и интенсивное пылеобразование. Если при этом грохот не имеет специальных укрытий очагов пылеобразования, то запыленность воздуха возле этих грохотов может достигать $800-1000 \text{ мг/м}^3$ и более. Аналогичным образом, только в меньшей степени, пылеобразование происходит и при работе других видов классифицирующих устройств.

Быстрое вращение бит молотковой дробилки одновременно с измельчением угля создает интенсивное движение воздуха внутри ее корпуса. Этот поток воздуха захватывает измельченные частицы угля и выносит их в виде пыли через зазоры и неплотности во внешнюю среду.

Пылеобразование при транспортировании угля и его продуктов обогащения зависит главным образом от вида конвейера, скорости движения тягового органа и технического состояния оборудования. При износившейся транспортерной ленте конвейера или недостаточной ее ширине транспортируемый уголь может попадать на нижнюю (свободную) ветвь, откуда рассеивается на металлоконструкции конвейера.

Наиболее распространенный источник выделения пыли на фабрике-самотечное (гравитационное) транспортирование, которое обычно осуществляется в закрытых желобах и используется для пересыпок материала с одного транспортирующего звена или оборудования на другое. Во всех случаях перегружаемый материал поступает сначала в воронку, примыкающую к технологическому оборудованию или устанавливаемую у места разгрузки конвейера, затем под действием собственного веса перемещается по наклонным или вертикальным желобам и поступает на нижерасположенный транспортирующий конвейер или в технологическое оборудование. При этом пересыпаемый материал эжектирует воздух, нагнетая его в укрытие. Под действием возникающего избыточного давления воздух с пылью выносятся в помещение. Характерной особенностью перегрузок горячих материалов является наличие конвективных токов воздуха, возникающих в результате теплообмена и приводящих к перераспределению избыточного давления в укрытиях и желобах.

Учитывая то, что угольная пыль - специфическое вредное вещество углеобогачительных фабрик, борьба с запыленностью ведется на всех этапах, от начала проектирования до последнего дня эксплуатации фабрики. Проектирование всех производственных процессов ведется с учетом мероприятий по борьбе с пылью, а установка технологического и транспортного оборудования осуществляется одновременно со средствами обеспыливания.

Основные способы и средства борьбы с пылью на фабрике:

максимальная герметизация технологического оборудования и укрытие всех мест пылевыделения; аспирация с очисткой воздуха, выбрасываемого в атмосферу, от пыли; увлажнение угля в пределах, допустимых технологическим процессом;

уборка осевшей пыли.

Максимальная герметизация технологического оборудования и укрытие всех мест пылевыделения. В условиях углеобогачительных и брикетных фабрик самым распространенным способом борьбы с запыленностью воздуха является изоляция и герметизация источников пылеобразования. На практике обычно применяют герметизацию оборудования в сочетании с аспирацией - отсосом запыленного воздуха и последующей очисткой его перед выбросом в атмосферу. Герметизация может также сочетаться и с увлажнением; перерабатываемого или транспортируемого пылящего продукта.

В зимний период под воздействием низких температур влага в горной массе превращается в лёд, уголь становится мелкотрещиноватым с повышенной хрупкостью. В результате при транспортировке и переработке угля наблюдается интенсивное выделение мелкодисперсной пыли размером менее 5 мкм.

Взрываемость пыли зависит от вида пыли [1, 2, 10, 16, 50-55], крупности ее частиц, концентрации в воздухе, наличия кислорода в смеси, температуры воспламенения (детонации) и других факторов. Наиболее опасна по взрываемости угольная пыль, а также пыль сахара, муки, древесные пыли. Взрыв пыли – это мгновенное соединение горючей части пыли с кислородом воздуха. При этом выделяется большое количество тепла и газов, которые, нагреваясь, быстро расширяются, образуя взрывную волну. Каждый взрыв характеризуется двумя периодами: начальным, когда газы, расширяясь, создают взрывной толчок и вакуум в центре взрыва; вторичным, когда холодные газы устремляются к вакууму в центре взрыва. Полагают, что второй период более разрушительный.

Интенсивность взрыва максимальна, если соотношение кислорода и горючей массы в продуктах горения соответствует соотношению для полного сгорания продуктов в смеси. Содержание кислорода воздуха в горючей смеси должно быть не менее 16 %, при меньшем содержании взрыва не последует.

Крупность частиц существенно влияет на взрываемость пыли, так как с уменьшением размеров частиц возрастает их удельная поверхность, т. е. поверхность соприкосновения пыли с воздухом. Взрываемость угольной пыли увеличивается с увеличением выхода летучих веществ.

Концентрация угольной пыли в воздухе существенно влияет на взрываемость. Так, при концентрации угольной пыли 112 г/м^3 , когда пыльсгорает при полном расходе кислорода воздуха, интенсивность взрыва максимальна. Считают опасной концентрацию угольной пыли от 112 до 500 г/м^3 . Но взрыв может произойти и при концентрации пыли от 30 до 200 г/м^3 . При концентрации $1500\text{—}2000 \text{ г/м}^3$ угольная пыль не взрывается.

Наиболее взрывоопасна пыль с частицами крупностью 70—100 мкм. Более мелкая пыль менее взрывоопасна, хотя и имеет большую удельную поверхность; пыль предварительно окисляется (частично сгорает) и дает менее сильные взрывы.

Угли, содержащие более 15 % летучих веществ, являются взрывоопасными. Особо опасные по взрыву угли с выходом летучих веществ более 35 %. Угольная пыль зольностью более 60 % по взрыву не опасна, то же относится к влажной пыли, которая не может подняться в воздух.

Взрыв пыли начинается с детонации (небольшой взрыв газа), после чего пыль поднимается в воздух, смешивается с ним и происходит сильный взрыв. Наличие во взрывоопасной смеси пыли с воздухом метана понижает взрывоопасную концентрацию пыли до 20 г/м^3 при содержании 1 % метана. И даже до 5 г/м^3 при содержании 3 % метана. В некоторых случаях пыль сгорает медленно (например, в пылевидных топках), но при препятствии на пути горения происходит взрыв.

При взрыве угольной пыли выделяется большое количество ядовитых газов.

Тонкие пыли железа, алюминия, цинка и других металлов способны гореть и даже взрываться. Особенно опасны по взрыву сернистые и сульфидные пыли, взрываемость которых зависит от содержания в них серы. Так, руды, содержащие более 18 % серы, взрывоопасны. При содержании серы в руде более 40 % происходит максимальный по силе взрыв. Руды, содержащие

менее 12 % серы, не взрывоопасны. Взрывоопасная концентрация серосодержащих пылей достигает 14 – 670 г/м³; максимальный по силе взрыв происходит при концентрации 300 г/м³; наиболее опасна по взрыву пыль размером 70 мкм. Температура воспламенения сульфидной пыли составляет 430 – 460°C, серной пыли – 310 °С.

Основные причины взрыва пыли:

- наличие открытого огня во взрывоопасной смеси пыли с воздухом (аэрозоль) - неисправности освещений, короткое замыкание электротоков, сварочные работы, курение и т. д.;

- самовозгорание пыли, отлагающейся на перекрытиях, оборудовании, устройствах отопления и др.;

- загорание пыли в транспортных трубах пылеулавливания, особенно сушильных установок;

- производство слесарных работ с образованием искр в пыльных местах.

Опасность взрыва увеличивается при выделении и накоплении метана в бункерах и глухих непроветриваемых местах.

Вредное действие пыли и газов на организм человека [82, 83].

Степень вредного воздействия пыли на организм человека зависит от вида пыли (ядовитая и неядовитая), ее размеров и способов воздействия на организм. Пыль, находящаяся в воздухе, может воздействовать на глаза человека, вызывая раздражение, сопровождающееся слезоточивостью и ослаблением зрения. Наиболее опасна пыль негашеной извести, каменноугольного пека, карбида кальция, цемента, действие которой подобно действию щелочи.

Частицы пыли могут оседать на кожу и даже проникать в нее, закупоривая отверстия сальных и потовых желез и вызывая этим воспаления кожи и др.

При вдыхании запыленного воздуха часть пыли задерживается слизистой оболочкой дыхательных путей и вызывает воспалительные процессы носоглотки и бронхов [82, 83]. Наиболее опасна пыль с острыми режущими краями, которая легко проникает в слизистую оболочку и травмирует ее. Пыль, попадая в легкие, оседает там, превращая с течением времени ткань в фиброзную (пневмокониоз), которая не участвует в процессе обмена кислорода и углекислого газа. Заболевания в зависимости от вида пыли, попадаемой в легкие, бывают следующие: силикоз при вдыхании кварцевой пыли,

антракоз при вдыхании угольной пыли, асбестоз при вдыхании асбестовой пыли и т. д. Весьма вредна кварцевая пыль, содержащая более 10 % SiO_2 .

Свинцовая пыль проникает в организм через дыхательные пути и органы пищеварения и вызывает изменения в нервной системе, крови, сосудах, костях. Свинец и его соединения обычно вызывают хронические отравления. Соединения марганца попадают в организм человека в виде пыли и действуют на центральную нервную систему, а также вызывают изменения в печени, почках, легких и органах кровообращения. Мышьяк ядовит главным образом в соединениях, попадая в организм через пищеварительные и дыхательные пути, он действует особенно сильно на желудочно-кишечный тракт. Ртуть и ее соединения являются сильным ядом, попадают в организм человека через дыхательные пути в виде пыли и паров.

Наиболее вредными являются частицы крупностью более 10 мкм, которые задерживаются верхними дыхательными путями, и частицы крупностью 0,5 – 5 мкм, которые проникают в легкие и задерживаются там. Частицы же крупностью менее 0,2 – 0,3 мкм проникают в легкие и удаляются обратно вместе с выдыхаемым воздухом. При большой запыленности воздуха в легких оседает значительная часть пыли, поэтому необходимо контролировать содержание пыли в воздухе, которое определяется санитарными нормами. При концентрации пыли в атмосфере выше санитарных норм разрешается работать в такой атмосфере только с респираторами.

Особенно опасна радиоактивная пыль, которая, попав в организм, будет систематически его разрушать, вызывая тяжелые заболевания (лучевая болезнь). При распаде радиоактивных веществ выделяются γ -, α - и β - лучи, вредно влияющие на живые организмы. Действие этих лучей на организм человека зависит от интенсивности излучения, длительности воздействия, характера радиации и путей воздействия на организм.

При работе с радиоактивными веществами применяются специальные меры охраны (устранение попадания пыли в атмосферу, работа в специальной одежде и др.).

Основные источники образования газов на обогатительных фабриках – сушильные и котельные установки, установки окускования, агломерационные фабрики. Переход серы в SO_2 при сжигании топлива достигает 95%; соотношение между SO_2 и SO_3 составляет от 10: 1 до 50: 1, т. е. сернистый газ в основном выбрасывается в атмосферу в виде SO_2 . Сернистый газ относится к вредным веществам: он поражает дыхательные пути, отрицательно действует на растительный мир, вызывает высокую коррозию труб и других

металлических изделий. При наличии в трактах движения газов сушильных установок водяных паров он конденсируется в виде H_2SO_4 , вызывая сильную коррозию. Улавливание и очистка от него газов могут осуществляться двояко: с использованием серы для получения серной кислоты и с получением гипса.

Более вредными являются [82, 83] оксиды азота NOX (NO_2 , NO_3 и т. д.), которые появляются в топках вследствие избытка воздуха, повышенной температуры горения, длительного времени пребывания газов при высокой температуре. Наибольшее содержание NOX отмечено в дымовых выбросах котельных. Предельно допустимое содержание оксидов азота в атмосфере $0,085 \text{ мг/м}^3$. Для уменьшения образования NOX применяются следующие меры: понижение температуры горения топлива, уменьшение времени пребывания газов при высокой температуре, увеличение интенсивности теплообмена, химические методы, скрубберная промывка, удаление азота из топлива, каталитическое восстановление и др.

Оксид углерода CO (газ без цвета, запаха и вкуса), образующийся в результате неполного сгорания, очень ядовит. Для предотвращения проникновения CO в рабочую атмосферу фабрик устраняют причины его образования, изолируют места образования и транспортирования. Наиболее простой метод очистки газа от CO – сжигание его до CO_2 . Очистку газов от CO можно осуществлять промывкой медно-аммиачным раствором.

Ядовит и сероводород H_2S , который встречается на некоторых обогатительных фабриках и в гнилостных очагах. Сероводород действует на дыхательные пути и глаза с возможным острым и хроническим отравлением. Очистку газов от H_2S осуществляют промывкой содовым раствором Na_2CO_3 .

Углекислый газ CO_2 слабо ядовит, но при большой концентрации опасен для жизни. При содержании 4-6% CO_2 в рабочей атмосфере дыхание и пульс учащаются, появляется шум в ушах, при содержании 10 % CO_2 наступает обморочное состояние, а при содержании 20 – 25% - полное

отравление организма наступает через несколько секунд. К другим вредным веществам, реже встречаемым на предприятиях переработки полезных ископаемых, относят хлористый водород, хлор, фтористый водород, кремнефтористый водород, пары ртути и др.

9.2. Промышленные пылеулавливающие установки на фабриках по обогащению угля [78-81]

Пылеулавливание на – процесс улавливания пыли в местах ее образования с последующим выделением твердой фазы из потоков воздуха или газа. В зависимости от крупности пыли, ее концентрации, ценности и требуемой степени очистки воздуха, пылеулавливание осуществляется в одну, две или три стадии. На рис. 9.1 приведены основные конструктивные схемы пылеуловителей.

Пылеулавливание может быть сухим или мокрым. Для сухого пылеулавливания используют **осадительные камеры, циклоны** (одионочные и батарейные), **рукавные фильтры** и **электрофильтры**. Для мокрого пылеулавливания используют **центробежные скрубберы, мокрые и пенные пылеуловители**.

Пылеосадительные камеры получили широкого распространения вследствие своей громоздкости. Поперечное сечение пылеосадительной камеры значительно больше, чем у воздуховода, по этой причине скорость движения воздуха в ней меньше, и крупные частицы пыли оседают в нижнюю часть камеры, откуда осуществляется их разгрузка. В настоящее время пылеосадительные камеры применяют в качестве разгрузочных камер барабанных сушилок и труб-сушилок. В этом случае в пылеосадительных камерах осуществляется первая стадия очистки дымовых газов, в которой улавливается только крупная пыль.

Продукты обогащения обычно обеспыливают двумя способами: воздушной классификацией и грохочением. Принципы воздушной классификации (обеспыливания) приведены из рис. 9.1 [78]

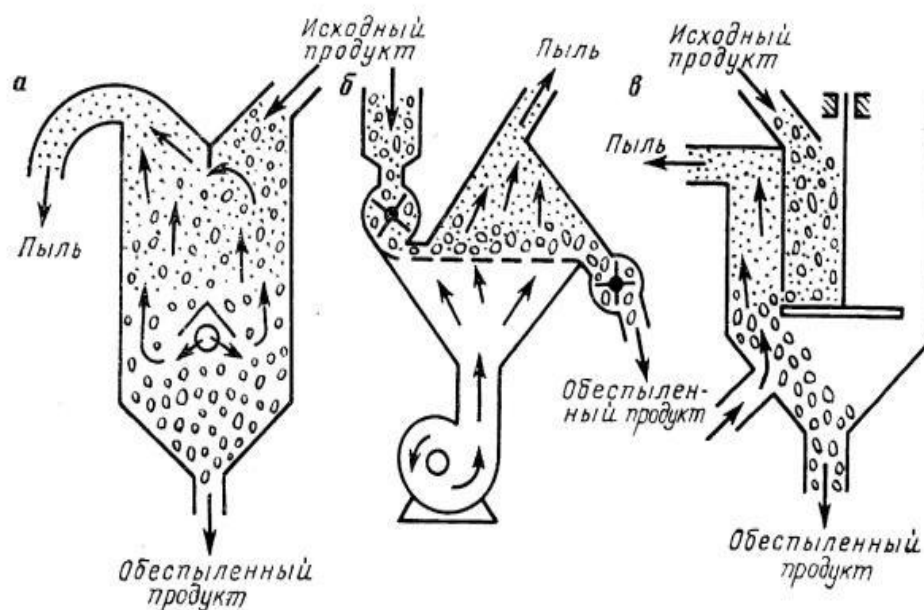


Рис. 9.1 – Схемы воздушного обеспыливания *а* – в вертикальном потоке; *б* – в горизонтальном потоке; *в* – в комбинированном потоке материала

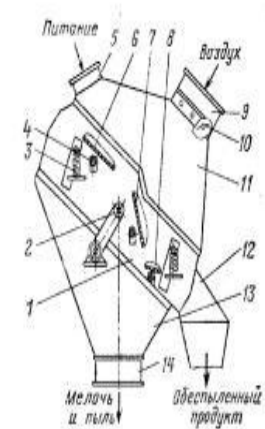


Рис. Вибрационный обеспыливатель

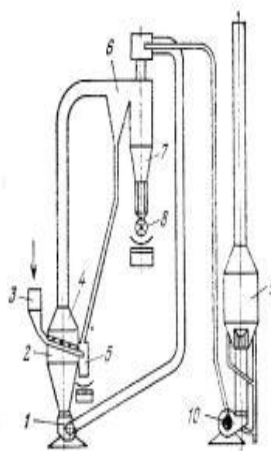


Рис. Пневмовибрационная обеспыливающая установка

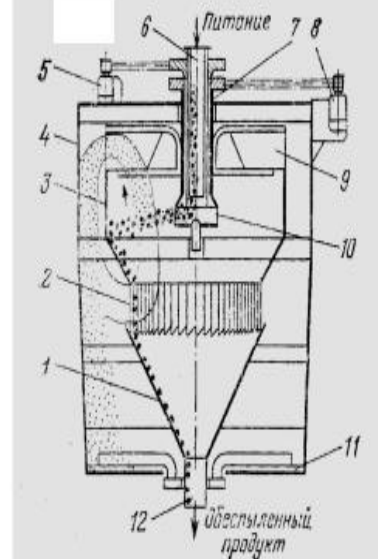


Рис. 9.2 – Конструктивные схемы обеспыливателей: *а* – вибрационный; *б* – пневмовибрационный; *в* – центробежный

Циклоны являются очень широко применяемыми аппаратами для пылеулавливания (рис. 9.3).

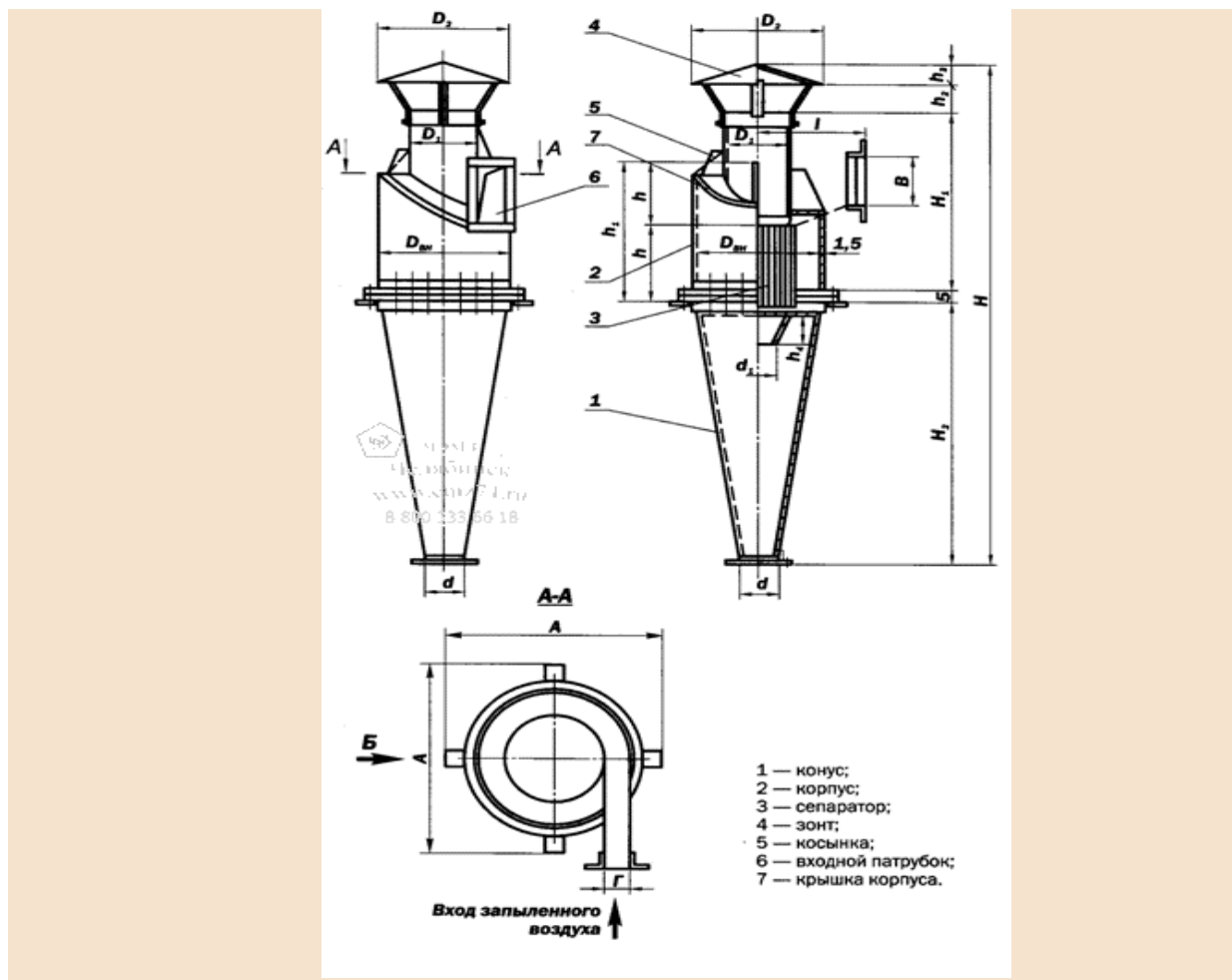


Рис. 9.3 – Циклоны центробежные типа Ц

Принцип работы циклона основан на том, что частицы пыли под действием центробежной силы (запыленный воздух подается в циклон вентилятором со скоростью до 25 м/с) прижимаются к внутренним стенкам циклона, теряют скорость и по спиралевидным траекториям перемещаются в нижнюю часть циклона, откуда разгружаются специальным устройством, обеспечивающим герметичность циклона в процессе работы. Обеспыленный воздух удаляется из циклона через выходной патрубок. Циклоны улавливают в основном мелкую пыль (крупнее 10 мкм), причем циклоны малого диаметра обладают большей эффективностью (к. п. д. > 90 %) по сравнению с циклонами большого диаметра (к. п. д. = 60-70 %), но имеют значительно меньшую производительность.

Промышленные циклоны (ЦН-11, ЦН-15, НИИОГАЗ) изготавливаются диаметром от 200 до 3000 мм и могут устанавливаться как отдельно, так и группами от 2 до 14 аппаратов.

На рис. 9.4 - приведен общий вид центробежного циклона ЦН-15 группового исполнения с бункером и улиткой, на рис. 9.5 - типичный вид центробежного циклона.



Рис. 9.4 – Общий вид центробежного циклона ЦН-15 группового исполнения с бункером и улиткой.

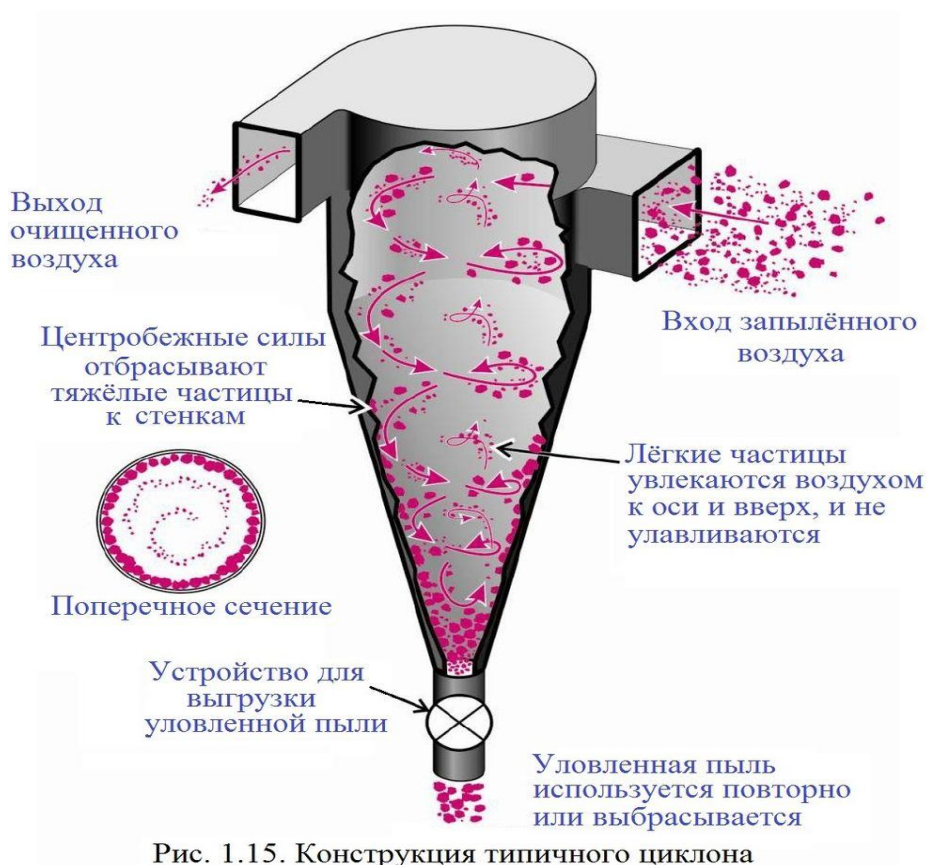


Рис. 1.15. Конструкция типичного циклона

Рис. 9.5 – Типичный вид центробежного циклона.

Для более эффективного пылеулавливания устанавливают **батареи циклонов** (рис. 9.6), состоящие из большого количества (до нескольких сотен) циклонов (элементов) небольшого размера. Диаметр циклонов от 40 до 250 мм. Циклоны своей цилиндрической частью заключены в камеру, куда подается запыленный воздух. Поскольку индивидуальный подвод воздуха к каждому элементу осуществлять затруднительно, в верхней части каждого циклона устанавливается неподвижная улитка, обеспечивающая «закрутку» воздуха в циклоне.

Разгрузка пыли осуществляется из нижней разгрузочной камеры с затвором; обеспыленный воздух удаляется через патрубок в верхней камере. В батарейных циклонах (БЦ) улавливается пыль крупностью до 5 мкм.

Пофракционный КПД очистки газа для циклонов НИИОГАЗ

Тип цикло- на	Диаметр циклона, мм	Условный диаметр частиц, мкм		
		<5	10	20
ЦН-15	800	50	85	97,1
	600	55	87	98,0
	400	69	89	98,5
	200	77	93	99,0
	100	83	95	99,5
ЦН-15У	800	40	81	97,0
	200	70	91	99,0
ЦН-24	1000	30	70	96,0
	500	41	79	97,0
ЦН-11	800	65	90	98,0
	100	86	97	99,0

Пофракционный КПД батарейных циклонов ПБЦ-15-25-35

Размер фракции, мкм	<5	5-	10-	20-	30-	40-	50-	100-	150
		10	20	30	40	50	100		
Пофракционный КПД	65,5								
	67,8	90,0	96,5	98,7	99,2	99,5	99,8	99,9	100

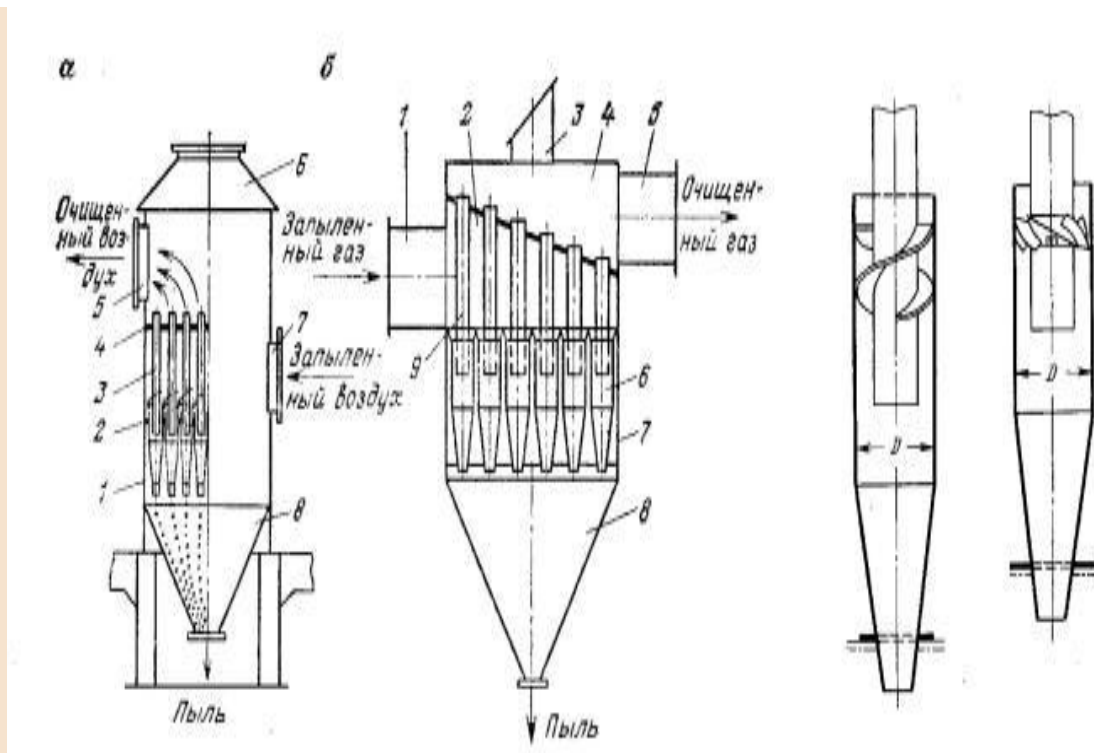


Рис. 9.6 – Батарейные циклоны (а – БЦ-1;б –БЦ-2)и элементы батарейных циклонов (в- с винтообразной направляющей,г – с розеткой)

Табл. 9.1 -Техническаяхарактеристика батарейных циклонов

Тип ци- клона	Число эле- ментов сек- ций	Оптимальная скор газа в элементе, м/с	Производительность про газу в секции, м3/с	Коэффициент сопротивления
БЦ-2	20; 25; 30; 36; 42; 56	4,5	4,84-13,6	70
БЦ-254Р	25; 30; 40; 50; 60	4,5	5,6-16,2	90
ПБЦ	24; 36; 48; 96	3,5	4,12-16,7	150

В **рукавных фильтрах** (рис. 9.7) процесс улавливания пыли происходит на пористой перегородке (фильтроткани) при просасывании через нее запыленного воздуха (по принципу пылесоса).

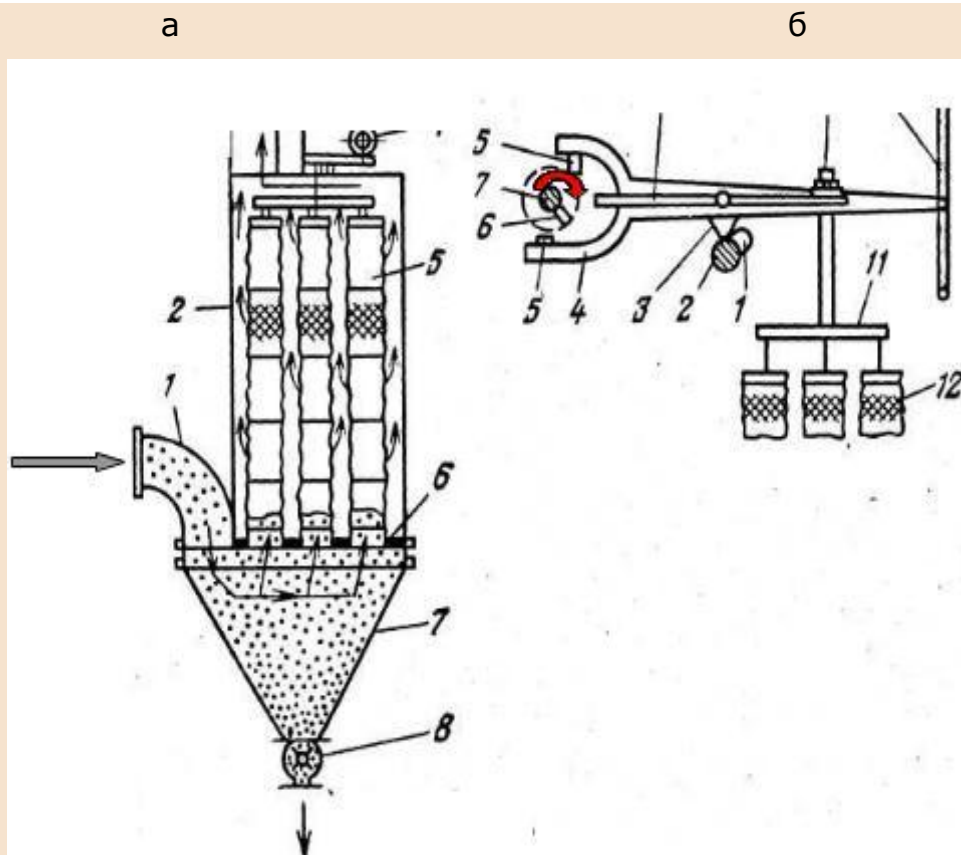


Рис. 9.7 – Промышленный рукавный фильтр ФР-90:
a — общий; вид *б* — схема встряхивающего механизма

Рукавный фильтр состоит из металлического корпуса 2, входного 1 и выходного 3 патрубков, встряхивающего механизма 4, рукавов 5, горизонтальной перемычки 6 и бункера 7 со шлюзовым затвором 8.

Фильтрующие элементы фильтра выполнены в виде рукавов диаметром до 220 мм, высотой от 3 до 10 м. Рукава (их число может составлять несколько сотен) крепятся вертикально внутри камеры, в которой создается разрежение. При этом запыленный воздух поступает внутрь рукавов снизу, а очищенный удаляется из камеры в верхней части.

Рукавный фильтр состоит из нескольких параллельно работающих секций. Периодически, по мере заполнения пылью, одна из секций отключается, рукава встряхиваются, пыль удаляется в бункер с разгрузочным устройством. Рукавные фильтры обеспечивают степень очистки воздуха до 99 %, они способны улавливать пыль крупностью менее 10 мкм. Применяются в основном на асбообогатительных фабриках и для окончательной очистки

воздуха после циклонов. Обозначение в соответствии с площадью фильтрации, например, РФГ-2-560.

Электрофильтры предназначены для улавливания пыли крупностью до 0,1 мм (рис. 9.8). Принцип их работы основан на ионизации воздуха в камере электрофильтра с помощью коронирующего электрода. На коронирующий электрод подается высокое напряжение (до 60 кВ) отрицательного знака. Электроны и отрицательно заряженные ионы адсорбируются на частицах пыли, которые оседают на заземленных осадительных электродах пластинчатой или трубчатой формы. Электрофильтр состоит из нескольких секций, попеременно отключаемых для разгрузки пыли с осадительных электродов. Эффективность улавливания пыли до 99 %.

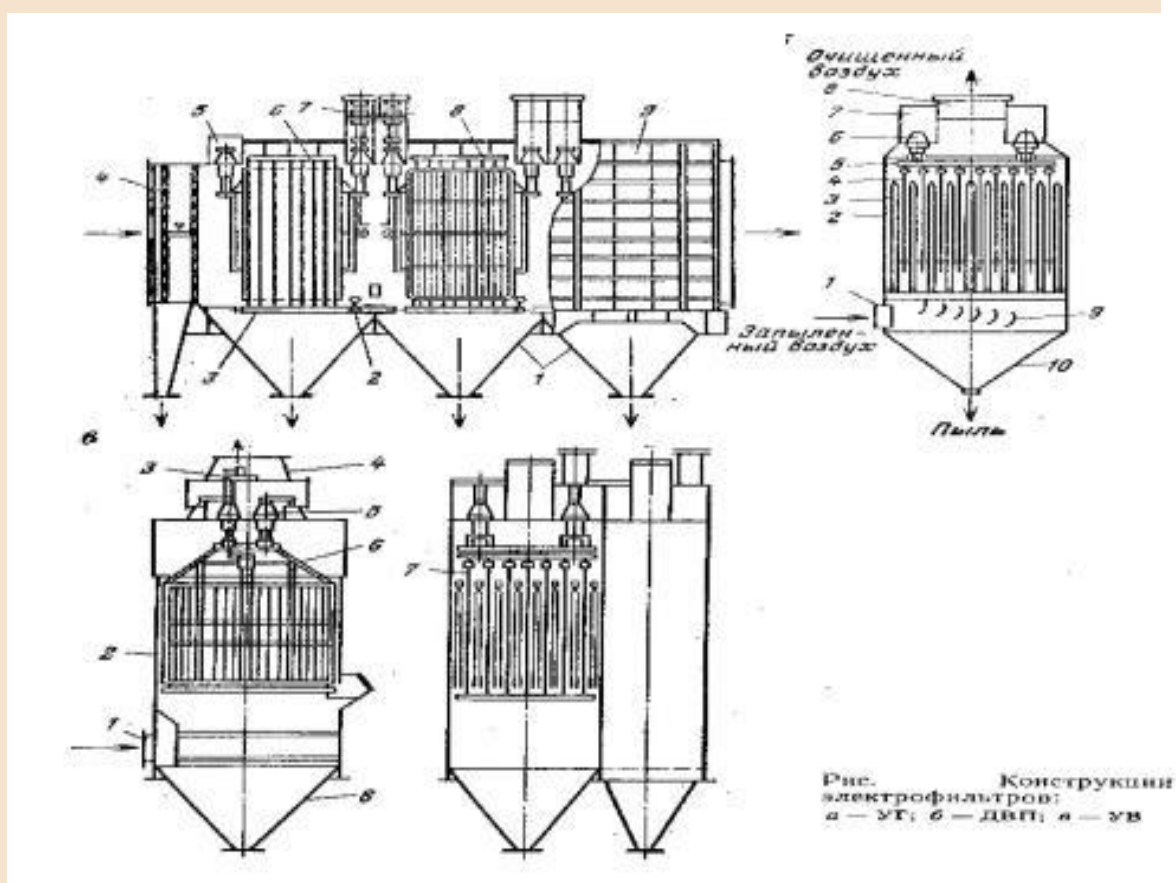


Рис. 9.8 – Электрофильтры: **а** - унифицированный, горизонтальный (УГ): 1 – бункер; 2 – встряхиватель; 4 – газораспределительная решетка; 6 и 8 – осадительные и коронирующие электроды; 7 – встряхиватель осадительных электродов; **б** - дымовой вертикальный пластинчатый (ДВП); **в** – унифицированный вертикальный.

Электрофильтры бывают горизонтального и вертикального исполнения, обозначаются в соответствии с площадью активного сечения (пространства, свободного для движения воздуха внутри фильтра, где существует электрическое поле), например: УВ-2-24 – унифицированный вертикальный двухсекционный электрофильтр с площадью активного сечения каждой секции 24 м².

Центробежный скруббер для мокрого пылеулавливания (рис. 9.9, а, б) имеет цилиндрический корпус, в нижнюю часть которого тангенциально подается запыленный воздух.

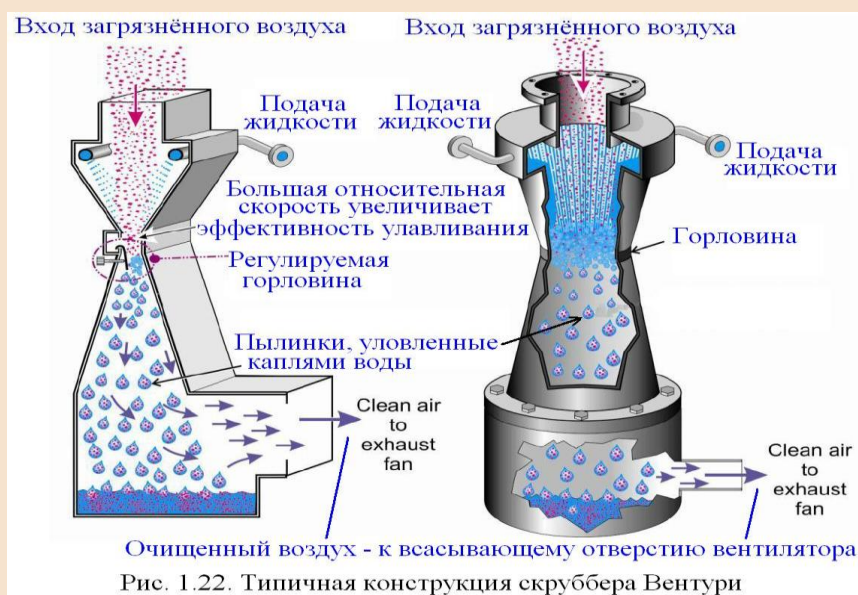


Рис. 9.9, а – Типичный скруббер для мокрого пылеулавливания

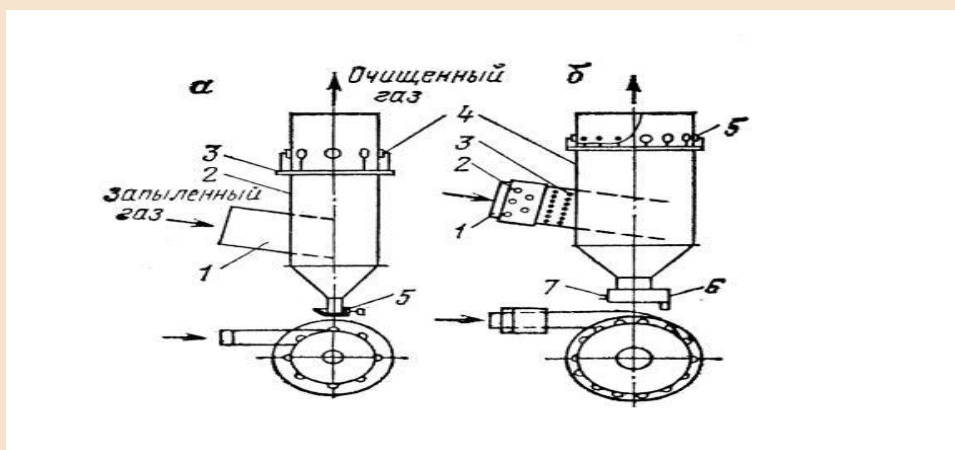


Рис. 9.9, б – Центробежный скруббер

В верхней части скруббера по окружности корпуса установлены форсунки, подающие воду на внутреннюю цилиндрическую поверхность корпуса. Под действием центробежной силы частицы пыли прижимаются к стенкам, смешиваются с водой и вместе с ней стекают в нижнюю часть скруббера, откуда удаляются через специальный затвор. Крупность удаляемой пыли – до 0,3 мкм, эффективность пылеулавливания – до 80 %.

Пыль, находящаяся в пузырьках, адсорбируется на границе раздела жидкость – газ и вместе с водой удаляется в отстойник. Эффективность пылеулавливания невысока – 50-60 %, поскольку внутри пузырьков пыль не контактирует с водой и поступает обратно в атмосферу.

В пенном пылеуловителе, в котором запыленный воздух пропускается через слой пены (рис. 9.8, в). В слое пены происходит интенсивное смачивание частиц пыли, которые самотеком удаляются вместе с отработанной пеной. Высота слоя пены на решетке – 100-200 мм, скорость движения запыленного воздуха на входе – 2-2,5 м/с. Эффективность пылеулавливания – до 99 %.

В мокрых пылеуловителях, использующих принцип Вентури, твердые частицы адсорбируются на поверхности мельчайших капелек воды, образующихся на выходе трубы-распылителя при подаче в нее запыленного воздуха со скоростью 40-150 м/с и орошающей жидкости. «Грязная» вода улавливается в брызгоуловителе и сливается в приемный бак. Подобные аппараты, например МПР – мокрый пылеуловитель с решеткой, используются в системах пылеулавливания сушильных установок. Эффективность пылеулавливания – до 99 %, производительность по очищаемому воздуху – до 4000 м³/ч.

В мокром (барботажно-пенном) пылеуловителе (рис.9.9, в) запыленный воздух подают в объем жидкости (воды), в которой происходит образование пузырьков диаметром 3-7 мм.

9.3. Борьба с пылью на обогатительных фабриках

В воздушное пространство производственных помещений обогатительных фабрик при работе технологического и транспортного оборудования выделяется пыль, особенно в цехах, связанных с переработкой сухих продуктов. Поэтому в зданиях фабрик предусматривают системы промышленной вентиляции и очистки аспирируемого воздуха.

На обогатительных фабриках применяют **вытяжную, приточную и общеобменную** вентиляцию.

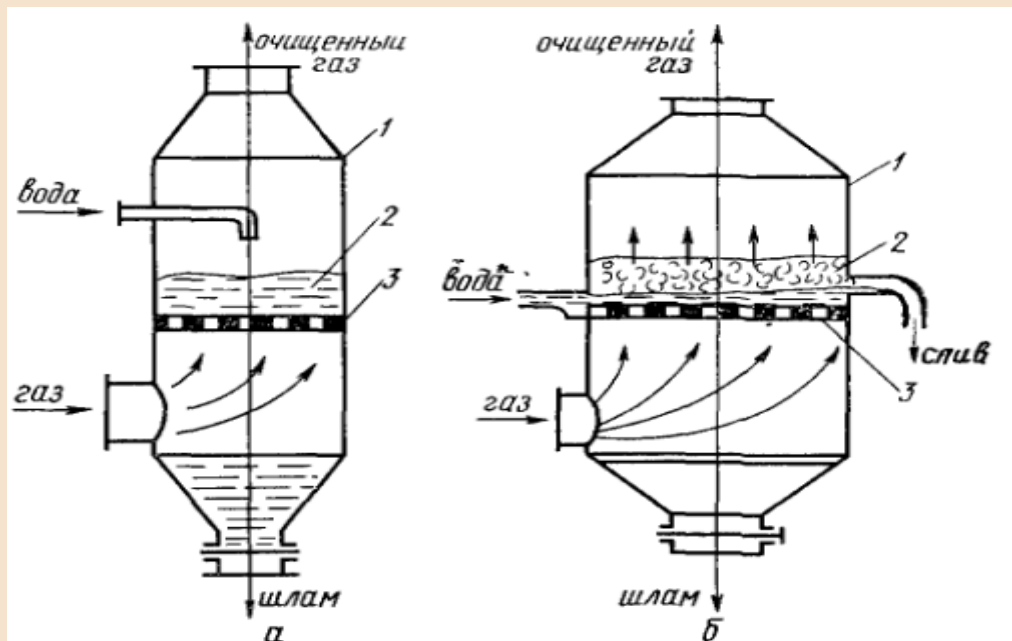


рис. 29. Барботажно-пенный пылеуловитель с провальной (а) и переливной (б) решетками

Рис. 9.9, в – Барботажно-пенный пылеуловитель

Вытяжная вентиляция предусматривает удаление запыленного воздуха из мест его образования и очистку воздуха от пыли. Свежий воздух поступает благодаря приточной системе вентиляции.

Общеобменная вентиляция предусматривает удаление запыленного воздуха из мест его образования и подачу свежего, очищенного и подогретого в зимнее время воздуха для компенсации отсасываемого воздуха. При неполной компенсации отсасываемого воздуха наружный воздух будет проникать в производственные помещения через различные зазоры, проемы, ворота и галереи. Поэтому следует подавать воздуха несколько больше, чем удаляется, чтобы создать незначительное давление воздуха. Скорость движения воздуха в промышленных зданиях не должна превышать $0,3 - 0,5 \text{ м/с}$.

На обогатительных фабриках применяют различные способы борьбы с пылью: аспирация мест пылевыведения; гидрообеспыливание сухих потоков материала; различные технологические и организационные мероприя-

тия, которые направлены на снижение концентрации пыли в производственных помещениях. Усреднённые характеристики эффективности работы пылеулавливающих аппаратов различных типов приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1 – Усредненные показатели работы пылеулавливающих аппаратов

Аппарат	Концентрация пыли в газе, кг/м ³	Размеры отделяемых частиц, мкм	К.П.Д а п п а р а т а , %	Гидравлическое сопротивление, Па
Пылеосадительные камеры	-	> 100	30-40	-
Циклоны	0,4	>10	70-95	400-700
Батарейные циклоны	0,1	>10	85-90	500-800
Рукавные фильтры	0,02	>1	98-99	500-2500
Мокрые скрубберы	0,05	>2	85-95	400-800
Пенные пылеуловители	0,3	>0.5	95-99	300-900
Электрофильтры	0,01-0,05	>0.05	<99.9	100-200

Узлы перегрузки материала с одного конвейера на другой обычно оснащают укрытиями кабинного типа.

Таковыми укрытиями оборудуют приводные барабаны ленточных конвейеров, питатели. Транспортируемый материал с конвейерной ленты поступает в приемную коробку и по желобу сыпается на конвейерную ленту между направляющими, снабженными в нижней части гибким резиновым уплотнением. Для разравнивания и уплотнения материала на ленте предусмотрен козырек. Под лентой расположены опорные ролики для восприятия давления ленты и исключения возможности ее провисания.

Приемная коробка в верхней части выполнена сплошной, а в нижней снабжена откидными бортами, которые с двойными уплотнениями образуют замкнутое пространство. Из этого пространства осуществляется отсасывание воздушно-пылевой смеси через приемную воронку системы аспирации воздуха. Тщательная герметизация укрытия способствует мини-

мально возможному проникновению пыли за пределы укрытия. На рис. 9.10 показана схема обеспыливания конвейеров.

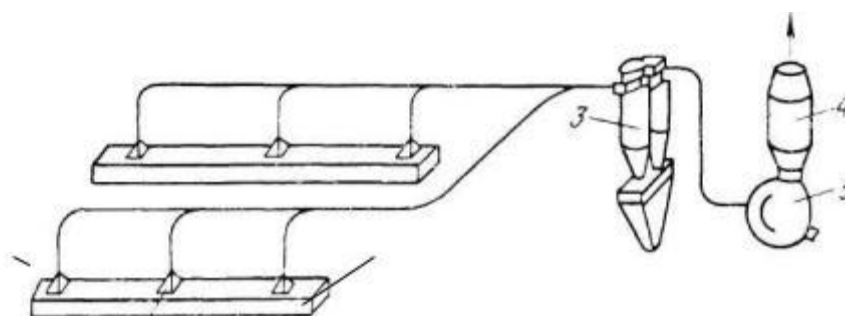


Рис. 9.10 – Схема аспирационной установки обеспыливания транспортных механизмов с двумя ступенями очистки воздуха в циклонах ЦП-15 и мокром пылеуловителе типа МИР: 1- укрытие конвейера;; 2- воздухоприемники; 3 — группа циклонов; 4— мокрый пылеуловитель типа МПР; 5 — вентилятор.

При загрузке бункеров также выделяется много пыли. В зависимости от способа загрузки бункера применяют герметичные укрытия различных конструкций. В настоящее время наиболее распространен способ загрузки бункеров с ленточного конвейера при помощи сбрасывающей тележки. Материал, транспортируемый лентой, падает с барабана сбрасывающей тележки и по закрытым желобам поступает в бункер. Щели бункера укрывают гибким резиновым клиновидным уплотнением.

Если бункер загружается конвейером, то необходимо загрузочные отверстия бункера укрывать вместе с барабаном конвейера. В некоторых укрытиях предусматривают отсос воздуха из сбрасывающей тележки и из бункера.

Укрытие грохотов. Наибольшее пылевыведение характерно при грохочении на вибрационных грохотах, что обусловлено энергичными вибрационными воздействиями рамы грохота с ситом на просеиваемый материал. Для предупреждения выделения пыли при грохочении применяют неполные и полные укрытия грохотов.

Неполные укрытия применяют при незначительных выделениях пыли в результате грохочения материала. Неполное укрытие состоит из зонта, перекрывающего 2/3 просеивающей поверхности со стороны подачи материала на грохот. Пылевоздушная смесь отсасывается из-подзонта через приемный патрубок.

Укрытие состоит из сплошного кожуха 1 со смотровыми окнами 2 и дверцами 4. Короб снабжен приемным патрубком системы аспирации 3. В

нижней части кожуха расположены разгрузочные устройства для выгрузки надрешетного и подрешетного продуктов.

В зависимости от способа загрузки бункера применяют герметичные укрытия различных конструкций. В настоящее время наиболее распространен способ загрузки бункеров с ленточного конвейера при помощи сбрасывающей тележки. Материал, транспортируемый лентой, падает с барабана сбрасывающей тележки и по закрытым желобам поступает в бункер. Щели бункера укрывают гибким резиновым клиновидным уплотнением.

Если бункер загружается конвейером, то необходимо загрузочные отверстия бункера укрывать вместе с барабаном конвейера. В некоторых укрытиях предусматривают отсос воздуха из сбрасывающей тележки и из бункера.

Одним из существенных источников пылевыведения являются сушильные установки. Помещения сушильных установок необходимо оборудовать системами промышленной вентиляции и аспирации. Технологическое оборудование и поточно-транспортная система должны иметь укрытия, а также постоянно действующую и аварийную вентиляцию для удаления из помещения загазованного воздуха. На рис. 9.11 приведена принципиальная схема барабанной сушилки.

Принцип действия.

Оборудование сушильных установок должно компоноваться по агрегатной схеме: бункер топлива; питатель; топка; подвижная колосниковая решетка; бункер влажного продукта; питатель; сушильный барабан; зубчатый венец привода барабана; опорные катки барабана; батарейный циклон; дымосос; скруббер и выход очищенного газа наружу в атмосферный воздух.

Сушка влажного материала осуществляется при его контакте с горячим газом, который образуется в топке. С помощью дымососа горячий газ (700-800 °С) просасывается через сушильный барабан, где контактируется с влажным материалом. Происходит испарение влаги. Сушёный материал удаляется через разгрузочную камеру. Отработанный газ вместе с частицами пыли попадает в систему пылеулавливания – батарейные циклоны и выбрасывается в атмосферу, пройдя мокрую очистку в скруббере.

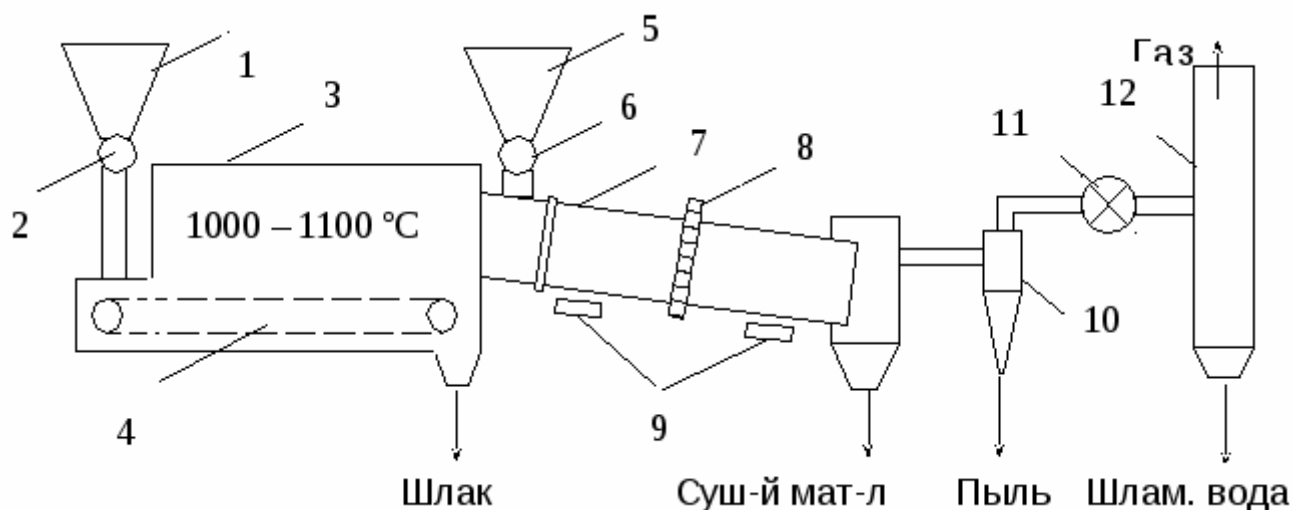


Рисунок 9.11– Схема барабанной сушилки:

1 – бункер топлива; 2 – питатель; 3 – топка; 4 – подвижная колосниковая решетка; 5 – бункер влажного продукта; 6 - питатель; 7 – сушильный барабан; 8 – зубчатый венец привода барабана; 9 – опорные катки барабана; 10 – батарейный циклон; 11 – дымосос; 12 – скруббер.

Показатель **напряжение сушилки по испаренной влаге** характеризует удельную производительность сушильного барабана ($37 - 115 \text{ кг/м}^3 \text{ ч}$). Для лучшего контакта горячего газа с влажным материалом на внутренней поверхности барабана устанавливаются лопасти, разрыхляющие материал. Промышленные модели сушильных барабанов [78-81, 84]: СБ 2.8 – 14 – ЛС; СБ 3.5– 18 – ЛС; СБ 3.5 – 22 – ЛС; СБ 3.5 – 27 – ЛС.

Одним из эффективных способов борьбы с выделением пыли является гидрообеспыливание. К гидрообеспыливанию относят увлажнение сухих материалов и осаждение пыли диспергированной водой. Сухие материалы увлажняют в том случае, если влага не оказывает отрицательного влияния на результаты обогащения полезного ископаемого. Руду увлажняют в вагонах, при выгрузке руды из вагонов, в бункерах, при дроблении и грохочении.

При подаче диспергированной воды в пылевое облако, в результате соударения частиц пыли и водных капель, образуются агрегаты, оседающие с большей скоростью, чем отдельные частицы. Эффективность образования агрегатов определяется в основном смачиваемостью пыли водой, скоростью соударений и крупностью капель и частиц.

К технологическим мероприятиям, предотвращающим пылевыведение, относят:

- замену, где это возможно, сухих методов обогащения на мокрые;
- уменьшение разницы перегрузочных уровней;
- тщательную герметизацию пылящего оборудования и его рациональную компоновку;
- применение более высокопроизводительного оборудования.

При проектировании укрытий необходимо предусматривать возможность сокращения протяженности линий перемещения материалов и числа узлов перегрузок при наименьших высотах перепадов продуктов. Следует снижать скорости подачи материала в укрытие, уменьшая угол наклона желобов, устанавливая отбойные плиты и создавая подушки из слоя перерабатываемого материала.

С целью предотвращения отложений пыли внутри трубопроводов последние должны проектироваться из расчета скорости воздуха не менее 15–17 м/с [78-80, 84, 87]. Система трубопроводов должна содержать минимальное количество горизонтальных участков. Отсасываемый воздух перед выбросом в атмосферу проходит очистку в пылеочистном устройстве. Аспирационная система включается в работу за 3 мин до пуска обслуживаемого оборудования и через такой же интервал времени после прекращения его работы выключается. Вентиляционное оборудование аспирационной системы принято в искрозащищенном исполнении.

Места пылеобразования (места пересыпов) в помещениях оборудуются системой гидро-обеспыливания, оснащаемой форсунками для разбрызгивания воды у мест пылеобразования. Форсунки располагаются в верхних точках перегрузочных узлов. Включение и выключение системы гидро-обеспыливания заблокировано с работой технологического оборудования.

В зданиях классификации, главном корпусе, сгустителе предусматривается механическая приточно-вытяжная система вентиляции, рассчитанная на борьбу с производственными вредными факторами и создание пылевого и температурно-влажностного режима в соответствии с санитарными нормами и правилами безопасности.

9.4. Рекомендуемые системы аспирации и пылеулавливания [86]

1. На пунктах погрузки угля в железнодорожные вагоны:

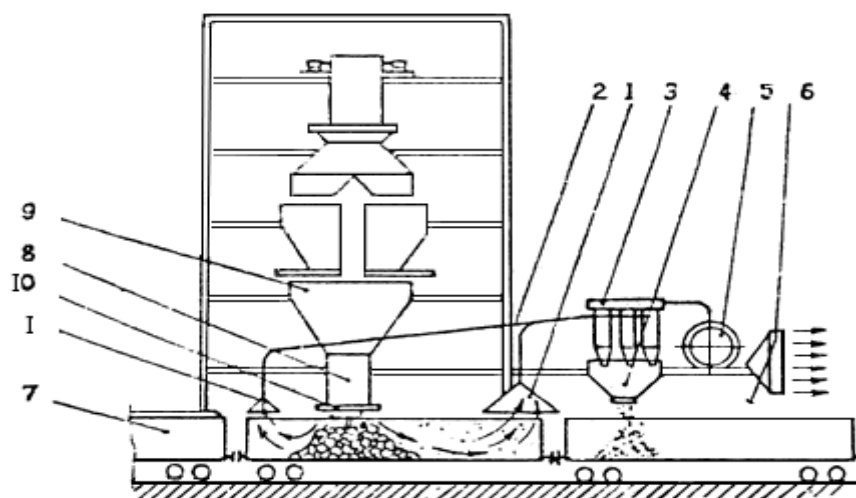


Рис. 9.13 – Системы аспирации и пылеулавливания на пунктах погрузки угля в железнодорожные вагоны :

1 - аспирационный зонтик; 2 - аспирационный воздухопровод; 3 - батарейный пылеуловитель; 4 - бункер для сбора пыли; 5 - вентилятор-дымосос ДН-17; 6 - зернистый фильтр; 7 - полувагон; 8 - погрузочный желоб; 9 - бункер-дозатор; 10 – воздухораспределитель.

- стационарные погрузочные пункты и самоходные погрузочные устройства должны быть оборудованы системами высоконапорного орошения;

- оросители должны устанавливаться по периметру дозирочного желоба с направлением факелов вниз на нагружаемую в полувагоны горную массу;

- на нестационарных погрузочных пунктах (погрузка угля и породы экскаваторами) для снижения концентрации пыли в воздухе при штилевой и инверсионной погоде должны быть предусмотрены средства проветривания (например, УМП-1А "Вихрь" и пр.) и орошения очагов пылеобразования;

- для борьбы с пылью при работе бульдозеров необходимо предусматривать предварительное орошение горной массы перед ее бульдозированием холодной водой летом и подогретыми рассолами зимой.

2. Схема аспирации и пылеулавливания на приёмной яме

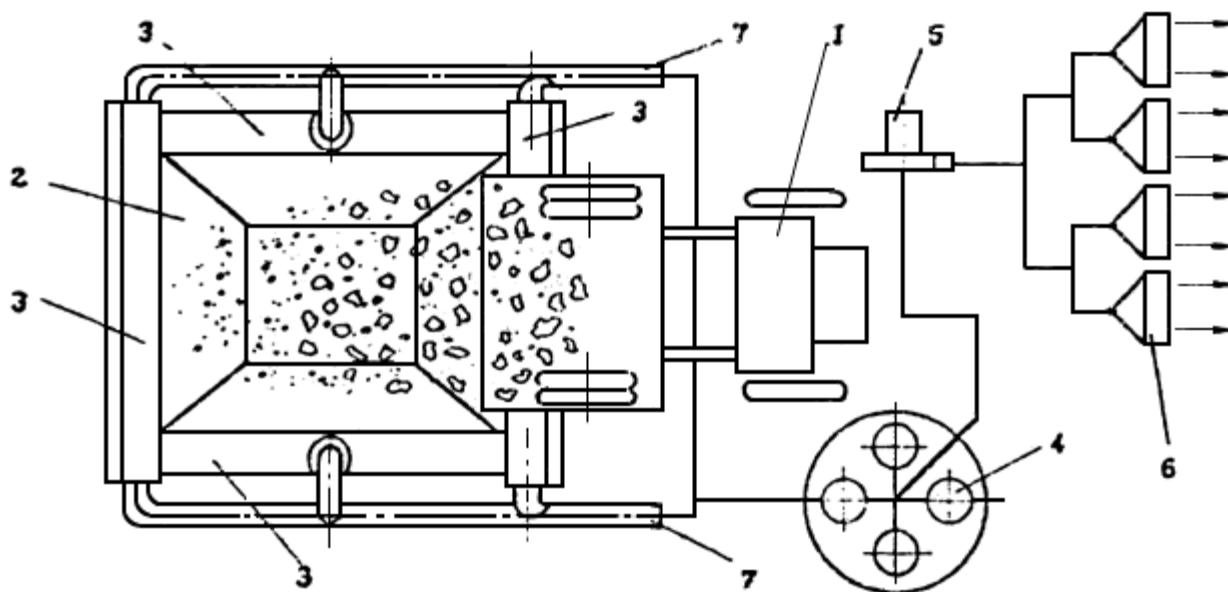


Рис. 9.14 – Схема аспирации и пылеулавливания на приёмной яме:
1 - автосамосвал БелАЗ-75199; 2 - накопительный бункер; 3 - пылесборники; 4 - пылеуловитель ЕПР-100; 5 - дымосос-вентилятор ДН-17; 6 - зернистые фильтры; 7 - аспирационные воздуховоды

3. Рекомендуемая система аспирации и пылеулавливания на открытом складе

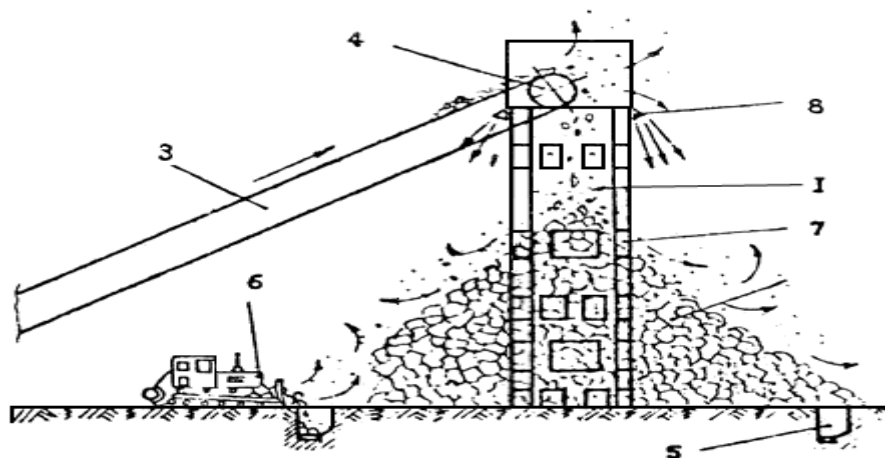


Рис. 9.15 – Система аспирации и пылеулавливания на открытом складе:
1 - пустотелая емкость; 2 - конус угля; 3 - конвейер; 4 - головка конвейера; 5 - углеспускные точки; 6 - бульдозер типа Д-355 или "Комацу"; 7 - окно; 8 – эжектор.

4. Принципиально-конструктивная схема устройства для получения искусственного снега и аспирации запыленного воздуха

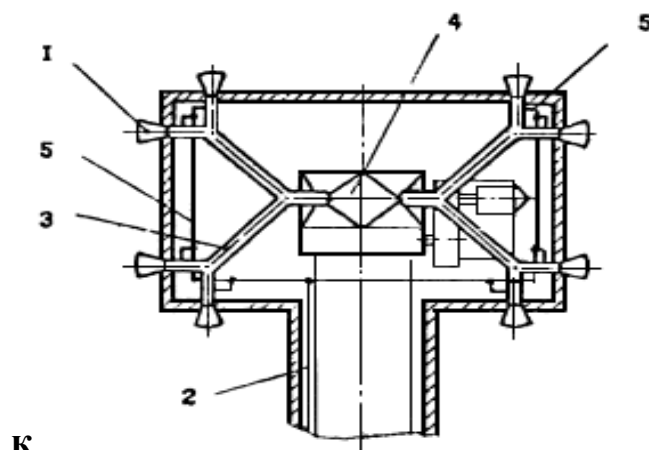


Рис. 9.16 – Схема устройства для получения искусственного снега:
1 - гидрозежктор; 2 - трубопровод; 3 - аспирационный трубопровод; 4 - аспирационное укрытие; 5 - высоконапорные рукава.

5. Принципиально-конструктивная схема эжектора для получения искусственного снега

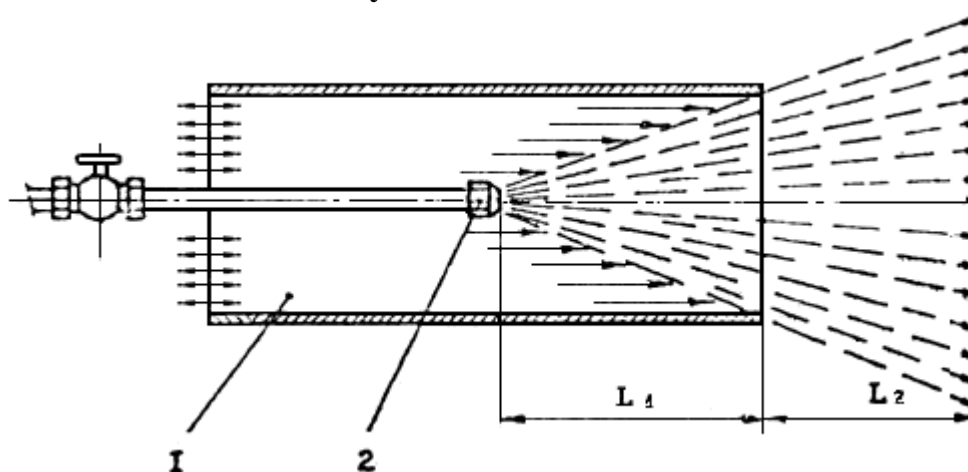


Рис.9.17 – Схема эжектора для получения искусственного снега:
1 - корпус эжектора; 2 – ороситель

Образование искусственного снега при помощи эжектора основано на эффекте охлаждения, вытекающей с большой скоростью и под высоким давлением мгновенно расширяющейся жидкости. При этом, расширяющийся поток жидкости отдаёт тепло в окружающее пространство, температура

жидкости, находящейся в капельном состоянии мгновенно падает ниже 0°C , образуется снег.

9.5. Средства индивидуальной защиты от производственной пыли (СИЗОД)

В тех случаях, когда техническими средствами невозможно достигнуть снижения уровня запылённости ниже безопасного значения (ПДК или ПДУ) необходимо на рабочих местах использовать СИЗОД [85].

Противопылевые респираторы защищают органы дыхания от аэрозолей различных видов. В качестве фильтров в противопылевых респираторах используют тонковолокнистые фильтровальные материалы. Наибольшее распространение получили полимерные фильтровальные материалы типа ФП (фильтр Петрянова) из-за их большой эластичности, механической прочности и пылеемкости, а главное, из-за высоких фильтрующих свойств.

К ним относятся: **респиратор У2-К, респиратор ШБ-1 «Лепесток 200», респиратор Р-2 и респиратор Р-2У.**

9.6. Вопросы для самоконтроля

1. Промышленные пылеулавливающие установки на фабриках по обогащению угля
2. Борьба с пылью на обогатительных фабриках
3. Рекомендуемые системы аспирации и пылеулавливания
4. Средства индивидуальной защиты от производственной пыли (СИЗОД)

10. ПЫЛЕВОЙ ФАКТОР ПРИ ПОГРУЗКЕ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЯ И НА УГОЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛАХ

10.1. Предварительные замечания

При транспортировке по сети железных дорог и его перегрузке на угольных терминалах масса угольной пыли с фракцией 0–1 мм, составляющая 18–22% на складах угольных шахт и обогатительных фабриках, увеличивается, повышается дисперсность пыли, с преобладанием мелких фракций, которые легко переходят во взвешенное состояние. Потери угля в этом случае могут составлять до 20–25% от транспортируемых объемов [1].

На территории Одесского угольного терминала работает ряд Стивидорных компаний, осуществляющих перевалку грузов.



Рис. 10.1 – Стивидорные компании, осуществляющие перевалку грузов на территории Одесского угольного терминала.

Так как г. Одесса является морским портом, то на морском терминале могут производить разгрузку угля сухогрузы, приходящие из других стран: России, Австралии, ЮАР, США и т.д. На рис. 10.2 приводится приход сухогруза одной из зарубежных стран.



Рис. 10.2 – Сухогруз с углём на пирсе угольного терминала «Одесса»

10.2. Комплексное обеспыливание в угольных терминалах и уровни запыленности на рабочих местах [1, 87, 88]

Основными местами пылеобразования в угольных терминалах являются:

- опрокидыватели вагонов;
- станция дробления/грохочения;
- пересыпные (перегрузочные) станции;
- роторные ковши стакеров-реклаймеров;
- открытые склады угля (поверхность штабеля угля);
- судопогрузочная машина;
- открытые транспортерные ленты.

Основные места выделения пыли и типовое расположение аспирационных установок в составе современных технологических линий рассмотрен на примере угольного терминала «Одесса». Каждый вагоноопрокидыватель вмещает, как правило, одновременно два полувагона грузоподъемностью 71 т. На рис. 10.3 приведен разгрузочный комплекс, в угольном терминале. Вагоноопрокидыватель.

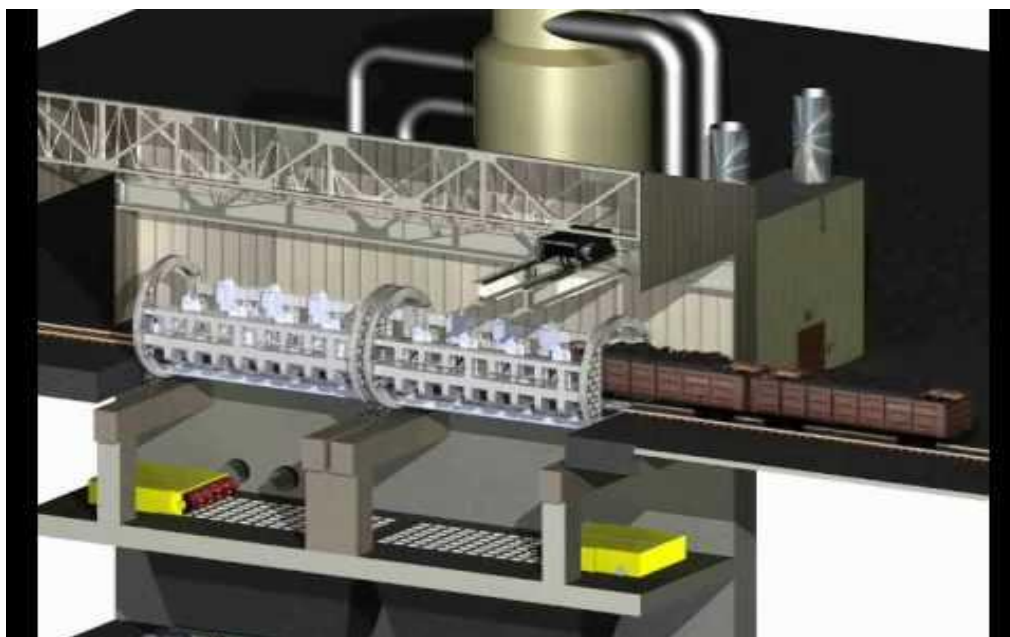


Рис.10.3 – Разгрузочный комплекс. Вагоноопрокидыватель.

Цикл работы вагоноопрокидывателя — 2–3 мин. На рис. 10.4 приведен вид вагоноопрокидывателя в работе.



Рис 10.4 – Вид работающего вагоноопрокидывателя.

Пыль, образующаяся при разгрузке вагонов, поступает в воздух рабочей зоны и затем удаляется аспирационной системой с очистным оборудованием. Кроме узлов по опрокидыванию вагонов на данном производственном объекте имеются устройства первичного дробления, ниже которых расположен узел питателя.

В питателе уголь из бункера выгружается на конвейерную ленту и далее поступает в подземную (тоннельную) часть конвейерной галереи. Таким образом, в здании вагоноопрокидывателя сконцентрированы источники пылеобразования с наибольшей интенсивностью выделения пыли. Система аспирации для данного производственного объекта имеет, как правило, максимальную производительность и разветвленную сеть всасывающих трубопроводов. Пересыпные станции представляют собой закрытые помещения. К типовым решениям для уменьшения количества пыли, попадающих в воздух рабочей зоны в пересыпных станциях относятся автоматическая сплинкерная пылеподавляющая система, работающая в периоды с положительными температурами; автоматическая аспирационная система, работающая в периоды с отрицательными температурами.

Системы аспирации для пересыпных станций имеют в 5–10 раз меньшую производительность, чем аналогичные системы в здании вагоноопрокидывателя. Аспирационные системы в пересыпных станциях монтируются непосредственно внутри станций. Воздух из рабочей зоны в пересыпных

станциях, проходя через систему аспирации и очистное оборудование, выбрасывается в атмосферу.

Склады открытого хранения сыпучего груза являются достаточно мощными источниками пыления, вызванного ветровой эрозией. Этот источник представляет наибольшую сложность как с точки зрения нормирования выбросов и оценки воздействия на окружающую среду, так и с точки зрения борьбы с пылеобразованием. Кроме этого значительное количество угольной пыли выделяется в атмосферу при работе крана-манипулятора при загрузке угля на склад с железнодорожных вагонов (рис. 10.5).

В атмосферу обычно поступает пыль, размер частиц которой составляет 1– 40 мкм. Вынос в атмосферу аэрозольных частиц загрязняет воздушное пространство главным образом вблизи предприятий и наносит определенный экологический ущерб. Кроме того, с учетом значительного объема пылевых фракций в угле вынос пыли приводит к прямым материальным потерям. Процесс выгрузки угля в вагоны со склада открытого хранения (рис. 10.6).



Рис. 10.5 – Кран-манипулятор Liebherr L934 разгружает железнодорожный вагон

К источникам пылевыведения можно отнести также:

- конструктивные особенности ряда моделей питателей, вагоноопрокидывателя, имеющих неплотности между металлическими звеньями, приводящих к просыпанию угля и пыли;
- места обратного высыпания пыли, улавливаемой системами аспирации, на ленточный конвейер;
- основное оборудование (конвейеры, места пересыпов и т.д.), работа которых возможна и в ряде случаев осуществляется при отключении (аварийном отказе) систем аспирации;
- ранее отложившуюся и неубранную пыль.



Рис. 10.6 – Выгрузки угля со складов открытого хранения в вагоны

В результате проведения контрольных измерений установлено [1, 88]:

- рукавные пылеуловители при нормальном функционировании обеспечивают содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, на уровне $1,1\text{--}2,1\text{ мг/м}^3$ (по общей массе пыли с размерами частиц $1\text{--}74\text{ мкм}$);
- уровни запыленности на рабочих местах могут достигать пределов $20\text{--}390\text{ мг/м}^3$, что значительно превышает действующие нормы для угольной промышленности (10 мг/м^3);
- максимальные уровни запыленности (около 770 мг/м^3) отмечены в подземных частях конвейерных галерей при наличии недостатков в системах аспирации и принудительной вентиляции, сброса на конвейерную ленту

высокодисперсной пыли, улавливаемой системами аспирации, а также из-за перевода в аэрозольное состояние отложившейся пыли.

За счет модернизации систем аспирации, совершенствования устройств – формирователей потока угля, устройств повторного высыпания пыли (из систем аспирации) — на конвейерную ленту, а также за счет уборки помещений и устранения повторного пыления при перемещении персонала происходит резкое снижение уровней запыленности воздуха рабочей зоны:

- в помещении питателя – по в 2,1–3,2 раза;
- подземной галерее – в 19,3–35,8 раза;
- пересыпных станциях – в 1,5–6,2 раза.

Поскольку к опасным по взрывам пыли относятся пласты угля с выходом летучих веществ 15% и более, большинство транспортируемых марок энергетического и коксующегося угля являются потенциально взрывоопасными. При этом нижний предел взрываемости для основных транспортируемых углей марок Д, Г, ДГ, Ж достигается при толщине отложений пыли от 0,1 до 0,3 мм. Учитывая, что в отгружаемых углях доля фракции 1–1000 мкм составляет 22–25%, объемы пыли, потенциально имеющей возможность витания и участия во взрыве, составляют до ¼ объема годовой переработки угля на терминале, или 1,5–3 млн. т.

На основании отобранных проб отложившейся пыли в помещениях балкерных терминалов определена ее насыпная плотность. Насыпная плотность пыли (с уплотнением методом утруски), отобранной в помещениях (вагоноопрокидывателя и пересыпных башен), находилась в пределах 410–498 мг/см³, средняя насыпная плотность угольной пыли, отлагающейся в производственных помещениях терминала, составляет около 454 мг/см³ (кг/м³).

10.3. Зарубежный опыт обеспечения экологической безопасности угольных терминалов [88]

В конце июля 2010 года вошла в эксплуатацию 1-я очередь «Coal Terminal» в порту Мууга (Таллин).

Экологическая безопасность терминала подтверждена «Оценкой воздействия на окружающую природную среду» (ОВОС); последняя предусматривает применение хорошо себя зарекомендовавших в отечественной и мировой практике организационно-технических решений. При оценке воз-

действия объекта на окружающую среду (ОС) среди других выделяют так называемый долговременный период, в границах которого оценивается воздействие на окружающую среду во время эксплуатации терминала. Основное вредное воздействие на окружающую среду при перегрузке навалочных и насыпных грузов, как правило, оказывает сам перегружаемый груз. Основной объем угольной пыли поступает в атмосферу в случае:

- падения струи груза при перегрузке (трюм судна при загрузке через спускную трубу СПМ или грейфером, загрузка полувагонов, места падения угля на склад);

- сдувания под воздействием ветрового потока пылевой фракции со свободной поверхности груза (открытые штабеля хранения угля, просыпи груза по территории порта);

- механического воздействия на груз (выгрузка из трюма судоразгрузочными машинами; забор груза со штабеля складскими машинами; работа зачистных и уборочных машин).

Для снижения пыления при погрузке спускная труба СПМ оснащается устройством, снижающим скорость падения угля и предотвращающим пылеобразование. Для уменьшения пыления в процессе опорожнения грейфера (разгрузка судна) верхняя часть бункеров оборудована пылегасящей сеткой конструкции ЧерноморНИИпроекта, опробованной в Одесском, Новороссийском и Владивостокском портах. Для исключения выбросов загрязняющих веществ от судовых силовых установок на комплексе предусмотрена подача электроэнергии на суда от береговой сети.

В проекте предусмотрено ветропылезащитное ограждение периметра склада высотой 20 м (т. е. выше складских штабелей). Параметры ограждения приняты по аналогу – по наиболее крупному в портах постсоветских стран угольному терминалу мощностью 12 млн. т/г в порту Восточный. Для достижения наибольшего эффекта снижения скорости ветра длина защитной зоны не должна превышать высоту стенки более чем в 12 раз, а высота стенки должна быть не менее высоты открытых штабелей. Аналогичные ветрозащитные ограждения установлены на угольных терминалах Японии с единичным годовым грузооборотом в несколько десятков миллионов тонн (более 10 объектов) и расположенных рядом с селитебной зоной крупных городов (Нагасаки, Иокогама и др.). Такая же схема применена на портовых терминалах (грузооборот 55 – 70 млн. т/г) таких мегаполисов как Роттердам и Антверпен.

Снижение выбросов пыли от открытых штабелей предусмотрено путем орошения груза посредством разбрызгивателей, расположенных вдоль складских площадок. Орошение производится включением групп разбрызгивателей (по 6 единиц), подающих воду/эмульсию при комнатной температуре (в зимний период предусматривается возможность выпуска воды из системы орошения).

К техническим мероприятиям по сокращению выбросов в атмосферу относятся системы аспирации, вентиляции и пылеуборки. Их установка предусмотрена в зданиях пересыпных станций, вагоноопрокидывателя, станции погрузки вагонов. В индивидуальные аспирационные системы входят пылевые вентиляторы, воздухопроводы, двухступенчатые (циклон + рукавный фильтр) пылеулавливающие устройства. Подобная схема обеспечивает эффективность очистки до 99,9 %, т. е. на выходе из устройства в соответствии с техническими требованиями гарантируется запыленность воздуха не более 20 мг/м³.

Для эффективного снижения загрязнения атмосферы, наряду с техническими средствами, предусмотрен биологический метод – наиболее эффективный и экономически выгодный. Его основная составляющая — использование растений для очистки природной среды от загрязнителей, т. е. создание зеленой зоны. Пылезащитные и пылеулавливающие свойства древесных растений основываются на фильтрующей и осаждающей способности их листьев, ветвей, стволов (1 га леса в среднем способен осадить из атмосферного воздуха до 18 т пыли). ТЭО включает общие положения по организации пыле- и газоочистных полос из зеленых насаждений; подбор ассортимента древесно-кустарниковых растений, разработка планировочных решений и рекомендаций по содержанию зеленых насаждений на последующих стадиях проектирования должна быть выполнена с привлечением агро- и геоботаников.

. Первым украинским портом, который в 2004 г. признан соответствующим международным стандартам ISO-14000, стал МТП Южный. Примечательно, что в порту технология погрузки угля, как правило, включает двух-, иногда и трехкратную грейферную перевалку угля, что, естественно, повышает вероятность пылеобразования. В порту на основании международных стандартов сотрудниками отдела охраны труда и окружающей среды разработаны Система управления окружающей средой и ряд других документов, регламентирующих экологическую безопасность перегрузочного процесса. Ход и эффективность реализации предусмотренных этими доку-

ментами требований и мероприятий неоднократно контролировались проведением аудитов с участием международных экспертов TACIS. Отмечу, кстати, в Японии подобную сертификацию прошло 13,8 тыс. предприятий, в новоявленном члене ЕС Польше - 434. Можно с уверенностью полагать: при наличии соответствующих технико-технологических решений, обеспечивающих выполнение всех природоохранных требований, угольные терминалы в морских портах характеризуются высокой степенью экологической безопасности.

10.4. Дисперсный состав пыли на различных участках угольных терминалов [1, 88]

Витающая и отложившаяся пыль в технологических помещениях терминала высокодисперсная и легко переходит во взвешенное состояние, ее дисперсный состав определен для следующих производственных объектов:

- в верхней части станция грохочения (район загрузочного стола);
- в нижней части станция грохочения (лестница на второй этаж, почва);
- пересыпная станция ПС1, нижняя часть (почва, оборудование);
- пыль из пылеулавливающей системы.

Сопоставительный анализ дисперсного состава пылеосаждения в верхней и нижней частях здания грохота и дробилки показывает, что осаждаемая пыль в этих частях близка по составу. Размер отлагающихся частиц пыли в нижней части (22 мкм) превышает аналогичный показатель в верхней (20 мкм) на 10%. В нижней части отлагаются полностью грубые фракции пыли 71–96 мкм, объём которых не превышает 15% от общего объёма пыли. Тонкая пыль откладывается в пересыпных станциях. Размер, выделяющейся и отлагающейся в них пыли составляет 15–17 мкм, диапазон улавливаемых частиц – 0,17–69,15 мкм, среднеквадратическое отклонение размеров улавливаемых частиц – 5,67 мкм [1].

Аспирационными установками улавливается пыль, соответствующая по дисперсному составу пыли, образующейся при всех основных производственных (транспортных) операциях:

- пересыпке, дроблении, грохочении, транспортировке на ленточном конвейере). Размер улавливаемой пыли – 20 мкм, диапазон улавливаемых частиц – 0,17–96,3 мкм. Пыль после улавливания в системах аспирации в ряде проектных решений высыпается на конвейерную ленту для дальнейшей ее транспортировки на складугля. При этом не учитывается дисперсный состав пыли, полное витание которой наступает при скорости воздуха в

конвейерной галерее 1,7–2 м/с. Гравиметрическое осаждение пыли на ленту не происходит, пыль претерпевает многократные циклы: витание – улавливание системой аспирации – высыпание на конвейер – витание.

Содержание вредной для здоровья респираторной пыли составляет 20–37%, для сравнения, доля аналогичных фракций в забоях угольных шахт не превышает 3–5%. Для энергетических марок углей вся витающая и отложившаяся пылеопасна по взрывам.

В качестве одного из технических решений для уборки массовых отложений пыли внутри пересыпных башен, вагоноопрокидывателя, в конвейерных галереях и на открытых поверхностях используются вакуумные аспирационные установки стационарного или мобильного типа.

Работы по уборке пылеотложений внутри производственных помещений осуществляются в одной или двух рабочих зонах одновременно. В случае параллельной уборки пыли рабочая труба (диаметр 150 мм; длина 6 м) через Y-коллектор разделяется на два транспортных трубопровода диаметром 150, 125 или 100 мм. Транспортные трубопроводы имеют в концевой всасывающей части специальные насадки, посредством которых осуществляется уборка пыли и просыпей угля с оборудования и почвы помещений. Собранная пыль отправляется на склад угля либо в отвалы, повторное высыпание пыли на транспортную цепочку исключается. Уборка просыпей угля, штыба и пыли с дорог и пирса осуществляется вакуумными мобильными установками, имеющими специальную насадку.

10.5. Оценка эффективности противопылевых мероприятий

Эффективность противопылевых мероприятий оценивается по коэффициенту снижения концентрации пыли $k_{\text{э}}$, который рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{э}} = \left(1 - \frac{C_k}{C_n}\right) \cdot 100\%$$

где C_n – первоначальная концентрация пыли, мг/м³;

C_k – концентрация пыли после применения средств и способов пылеподавления, мг/м³;

Контроль запылённости воздуха осуществляется либо с выделением пыли из воздуха (сопределением её весового содержания), либо фотоэлектрическим, электрическим и радиометрическими методами с определением весовой или счётной концентрации пыли. Для контроля весовой и счётной

концентраций пыли используются специальные приборы. На предприятиях с высокой запылённостью утверждается график измерения концентрации пыли с установленем мест отбора проб и периодичностью их отбора. На предприятиях с высокой запылённостью утверждается утверждается график измерения концентраций пыли с установлением мест отбора проб и периодичностью их отбора.

10.6. Вопросы для самоконтроля

1. Комплексное обеспыливание в угольных терминалах и уровни запыленности на рабочих местах.
2. Зарубежный опыт обеспечения экологической безопасности угольных терминалов.
3. Дисперсный состав пыли на различных участках угольных терминалов.
4. Оценка эффективности противопылевых мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем «Пособии» проанализирован и обобщён опыт борьбы с опасностью угольной пыли на всех этапах: от подземной выемки угля, его обогачения до перегрузки и перевалки на угольных терминалах.

Рассмотрены теоретические и практические вопросы динамики угольной аэрозоли в подземных выработках угольных шахт, опасность взрывов угольной пыли, заболеваемости шахтёров угольных шахт Донбасса пневмокониозом, методы борьбы с пылью, пылевой обстановки в очистных и подготовительных забоях угольных шахт, методы контроля концентрации и дисперсности угольнопородной пыли. Рассмотрены методы борьбы с пылью на технологическом комплексе поверхности угольных шахт, экологической вредности пылевой эрозии породных отвалов. Приведены методы борьбы с угольной пылью на углеобогачительных фабриках, обеспыливания воздуха и окружающей среды, пылевой опасности процессов по разгрузке и перевалке угля на поверхностных складах угольных терминалов

Учебное пособие «Пылевая опасность угольного производства», позволяет углубить и систематизировать знания, полученные студентами при изучении дисциплин «Основы обеспечения безопасности опасных производственных объектов», «Охрана труда в отрасли», «Системы управления безопасности угольного производства», «Промсанитария и гигиена труда», «Аттестация рабочих мест» и «Проблемы безопасности при разработке выбросоопасных пластов». Учебное пособие может быть полезным студентам при подготовке отдельных разделов дипломного проектирования.

СПИСОК ИСПОЛИЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романченко, С. Б. Пылевая динамика в угольных шахтах. Т. 6. Кн. 9 : Промышленная безопасность / С. Б. Романченко, Ю. Ф. Руденко, В. Н. Костенко. – Москва : Горное дело : Киммерийский центр, 2011. - 256 с. : табл., ил.
2. Булгаков, Ю. Ф. Охрана труда в угольной промышленности : учеб. пособие для студентов горн. спец. вузов / Ю. Ф. Булгаков, С. Н. Александров, В. В. Яйло ; под общ. ред. Ю. Ф. Булгакова. - Донецк : РИА ДонНИИ, 2012. - 480 с.
3. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности / Г. А. Поздняков [и др.] ; под ред. А. С. Кузьмича. - Москва : Недра, 1982. - 240 с. : ил.
4. Российская энциклопедия по охране труда. – Москва : НЦ ЭНАС / под ред. В. К. Варова [и др.]. – Москва : НЦ ЭНАС, 2007. - 408 с.
5. Выставка «Охрана труда сегодня», г. Берлин // Глюкауф. – 2003. - № 1. - С. 35-41.
6. Медников, К. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозоля / К. П. Медников. - Москва : Наука, 1987. - 174 с.
7. Закон «Об охране труда» [Электронный ресурс] : принят Народным Советом ДНР 03.04.2015 (Постановление № I-118П) / ДНР. – Электрон. дан. - Донецк, 2015. – Режим доступа: http://old.dnr-online.ru/wp-content/uploads/2015/03/Zakon_DNR_Ob_okhrane_truda.pdf. – Загл. с экрана.
8. Правила организации государственного надзора состояния промышленной безопасности, охраны труда и горного надзора в системе Государственного Комитета горного и технического надзора Донецкой Народной Республики [Электронный ресурс] : утв. приказом Гос. Ком. Гортехнадзора ДНР № 508 от 14.12.2015 г. – Электрон. дан. – Донецк, 2015. – Режим доступа: http://old.dnr-online.ru/wp-content/uploads/2016/05/PrikazGK_GTN_N508_14122015.pdf. – Загл. с экрана.
9. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [Электронный ресурс] : постановление № 76 от 30.04.2003 (с изм. на 29 июня 2017 года) / М-во здравоохранения РФ. - Электрон. дан. - Москва, 2017. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901862250>. - Загл. с экрана.

10. Нецепляев, М. И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М. И. Нецепляев, А. И. Любимова, П. М. Петрухин. - Москва : Недра, 1992. - 298 с.

11. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса [Электронный ресурс Р 2.2.755–99 : утв. гл. гос. санит. врачом РФ 23.04.99 : введ. в действие с 01.09.1999. - Электрон. дан. - Москва, 1999. - Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=174. – Загл с экрана.

12. ГОСТ 12.0.003–74. Опасные и вредные производственные факторы [Электронный ресурс]. – Введ. 01.01.76. - Электрон. дан. - Москва, 1976. – Режим доступа: https://znaytovar.ru/gost/2/GOST_12000374_SSBT_Opasnye_i_v.html. – Загл. с экрана.

13. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие / под ред. О. Н. Русака. - Санкт-Петербург : Лань, 2000. - 448 с.

14. РД-15-09-2006. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт. - Москва : Науч.-техн. центр по безопасности в пром-сти, 2007. - 256 с. - (Серия : 05 ; вып. 14).

15. Закономерности распределения дисперсного состава пылевого аэрозоля при высокопроизводительной добыче угля / А. А. Трубицын [и др.] // Научные сообщения / ННЦ ГП – ИГД им. А. А. Скочинского. - Москва, 2003. - Вып. 324. - С. 126–144.

16. Медведев, Э. Н. Пылевая обстановка и заболеваемость пневмокониозом на шахтах Украины : учеб. пособие / Э. Н. Медведев [и др.]. – Макевка : Промдрук, 2005. - 208 с.

17. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [Электронный ресурс] : утв. гл. гос. сан. врачом РФ 29 июля 2005 г. - Электрон. дан. - Москва, 2006. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200040973>. - Загл. с экрана.

18. СанПиН 2.2.3.570-96. Гигиенические требования к предприятиям угольной промышленности и организации работ [Электронный ресурс] : утв. Госкомсанэпиднадзором России 31.10.96, № 44. - Введ. 1996-10-31. - Электрон. дан. - Москва, 1996. - Режим доступа: <https://www.ntm.ru/control/38/7034>. - Загл. с экрана.

19. Трубицина, Н. В. Развитие научных основ процессов пылеобразования и фрикционного воспламенения метановоздушных смесей для нормализации атмосферы угольных шахт : автореф. дис. ... докт. техн. наук / Н. В. Трубицина. - Кемерово, 2002. - 36 с.
20. Безопасность и охрана труда : учеб. пособие для вузов / под ред. О. Н. Русака. - Санкт-Петербург : ИМАНЭБ, 2001. - 279 с.
21. Лазерный анализатор размеров частиц Analysette 22 : проспект фирмы FRITSCHE GmbH (Германия). - [Германия] : [б. и.], 2006. - 24 с.
22. Проблемы аварийности и тенденции развития систем мониторинга пылевзрывобезопасности угольных шахт / С. Б. Романченко, С. Василевски // Научные сообщения / ННЦ ГП – ИГД им. А. А. Скочинского. - Москва, 2005. - Вып. 330. - С. 143–156.
23. ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Электронный ресурс]. – Введ. 1989–01–01. – Электрон. дан. - Москва, 1989. - Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=666. – Загл. с экрана.
24. Файнбург, Г. З. Охрана труда: учеб. пособие для специалистов и рук. служб охраны труда орг. / Г. З. Файнбург, А. Д. Овсянкин, В. И. Потемкин ; под ред. Г. З. Файнбурга. – 8-е изд., испр. и доп. – Владивосток, 2007. – 449 с.
25. Девисилов, В. А. Охрана труда : учебник / В. А. Девисилов. – 2-е изд. испр. и доп. – Москва : Форум : ИНФРА, 2006. – 380 с.
26. Корнев А.П. Пылевая обстановка на выемочных участках крутых пластов с нисходящим проветриванием очистных выработок //Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах /Сб. научн. тр. МакНИИ. – 1999. – С. 30 – 36.
27. ОСТ 153-12.0-004-01. Рудничная атмосфера. Методы контроля запыленности : приказ от 31. 10. 2001, № 307. - Введ. 2002-07-01 / М-во энергетики РФ. - Люберцы : ИГД им. А. А. Скочинского, 2001. - 35 с.
28. Жидецкий, В. Ц. Основы охраны труда : учеб. пособие / В. Ц. Жидецкий, В. С. Джигерей, А. В. Мельников. – Львов : Афиша, 2000 – 343 с.
29. НПАОП 10.0-5.08-04. Инструкции по замеру концентрации пыли в шахтах и учету пылевых нагрузок : утв. приказом ГК Украины по надзору за охраной труда от 26.10.2004 г. , № 236. - Введ. 2004-10-26. - Киев, 2010. - 120 с.
30. Овчаренко, В. Л. Обеспечение экологической безопасности при эксплуатации породных отвалов обогатительных фабрик / В. Л. Овчаренко,

А. А. Рыбакова // Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий : сб. науч. тр. IV науч.-техн. конф. молодых учёных и аспирантов. – Донецк, 2016. – С. 119-123.

31. Хухрина, Е. В. Пневмокониозы и их профилактика / Е. В. Хухрина, В. В. Ткачев. - Москва : Медицина, 1968. - 407 с.

32. Поздняков, Г. А. О достоверности способов контроля интенсивности пылеотложения в горных выработках / Г. А. Поздняков, Е. Л. Закутский // Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология : сб. науч. тр. по материалам симпозиума «Неделя горняка-2008». - Москва, 2008. - № ОВ5. - С. 137-141.

33. Поздняков, Г. А. Методы и средства контроля пылевзрывобезопасности угольных шахт / Г. А. Поздняков, Е. Л. Закутский // Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология : сб. науч. тр. по материалам симпозиума «Неделя горняка-2008». - Москва, 2007. - № ОВ12. - С. 58–70.

34. Кирин, Б. Ф. Аэрология подземных сооружений (при строительстве) / Б. Ф. Кирин, Е. Я. Диколенко, К. З. Ушаков. - Липецк : Липец. изд-во, 2000. 320 с.

35. Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах : федерал. нормы и правила в обл. пром. безопасности / науч.-техн. центр исслед. пробл. пром. безопасности. – Москва : [б. и.], 2015. – 68 с. - (Серия : 05 ; вып. 44).

36. Овчаренко, В. Л. Запылённость подготовительных выработок угольных шахт и её влияние на заболеваемость проходчиков пневмокониозами / В. Л. Овчаренко, М. Н. Новикова // Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий : сб. науч. тр. III науч.-техн. конф. молодых учёных студентов и аспирантов. – Донецк, 2015. – С. 38-46.

37. Вентцель, Е. С. Теория вероятности и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. - Москва : Наука, 1988. - 480 с.

38. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [Электронный ресурс]. - Взамен Р 2.2.755-99 ; введ. 2005-11-01. - Электрон. дан. - Москва, 2005. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200040973>. - Загл. с экрана.

39. Сборник инструкций к правилам безопасности в угольных шахтах. Т.1. - Киев, 2003. - 478 с.

40. Правила безопасности в угольных шахтах [Электронный ресурс] : утв. приказом Гос. Комитета и техн. надзора ДНР и М-ва угля и энергетики

ДНР от 18.04.2016 г., № 36/208. - Электрон. дан. - Донецк, 2016. - Режим доступа: <http://gisnpa-dnr.ru/org/0024-ministerstvo-uglya-i-energetiki-donetskoj-narodnoj-respubliki/>. - Загл. с экрана.

41. Горный закон Донецкой Народной Республики [Электронный ресурс] : принят 15 мая 2015 г. (Постановление №I-179П-НС с изм. № 117-ИНС от 01.04.2016 г.) / ДНР. - Электрон. дан. - Донецк, 2016. - Режим доступа: <http://dnrsovet.su/gornyj-zakon-donetskoj-narodnoj-respubliki/>. - Загл. с экрана.

42. Закон Донецкой Народной Республики «О недрах» [Электронный ресурс] : принят 12.06. 2015 г. (Постановление № 58-ИНС) / ДНР. - Электрон. дан. - Донецк, 2015. - Режим доступа: <http://dnrsovet.su/zakon-donetskoj-narodnoj-respubliki-o-nedrah/>. - Загл. с экрана.

43. EN 13205:2001. Атмосфера на рабочем месте – оценка производительности приборов для измерения концентрации частиц, содержащихся в воздухе [Электронный ресурс] : европ. стандарт (нем. версия). - Электрон. дан.-[Б.м.:б. и.], [2001?]. - Режим доступа: docs.cntd.ru/document/1200082549. - Загл. с экрана.

44. EN 481:1991. Установление конвенций о величине частиц фракций для измерения взвешенных веществ на рабочем месте [Электронный ресурс] : европ. стандарт (нем. версия). - Электрон. дан. - [Б. м. : б. и.], [1991?]. - Режим доступа: www.beuth.de › Startseite › Umweltschutz › DIN EN 481. - Загл. с экрана.

45. ISO 7708:1995. Качество воздуха. Определение фракций по крупности частиц для отбора проб в гигиенических целях [Электронный ресурс] : междунар. стандарт. - Электрон. дан. - [Б. м. : б. и.], [1995?]. - Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/14534.html>. - Загл. с экрана.

46. Petsonk, E. L. Attfield. Легочные заболевания шахтеров / Edward L. Petsonk, Gregori R. Wagner, Michael D. Attfield // Энциклопедия по безопасности и гигиене труда. - Москва, 2001. - Т. 3. - С. 184.

47. Овчаренко, В. Л. Результаты экспериментальных исследований отложения угольной пыли в выработках добычного участка / В. Л. Овчаренко [и др.] // Способы и технические средства обеспечения безопасных и здоровых условий труда на угольных шахтах : сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка, 1988. – С. 91-96.

48. Рейнхард, М. Борьба с пылью за пределами очистных забоев / М. Рейнхард // Глюкауф. - 1994. - № 2. - С. 12-15.

49. Забурдяев, Г. С. Защита органов дыхания шахтеров / Г. С. Забурдяев // Охрана труда и социальное страхование. - 2001. - № 2. - С. 68-69.
50. Левкин, Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / Н. Б. Левкин. - Макеевка : МакНИИ, 2002. - 392 с.
51. Семёнов, Н. Н. Цепные реакции / Н. Н. Семенов ; АН СССР. Ин-т хим. физики. - 2-е изд., доп. и перераб. - Москва : Наука , 1986. - 533 с.
52. Семёнов, Н. Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности / Н. Н. Семенов. - 2-е изд., доп. и перераб. - Москва : Изд-во АН СССР, 1958. - 686 с.
53. Кудинов, Ю. В. О механизме взрыва угольной пыли / Ю. В. Кудинов, А. В. Володин // Способы и средства создания условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка, 2014. – Вып. 1(31). – С. 139-143.
54. Крумменауэр, Э. Оптимизация производительности и безопасности в угольном очистном забое при помощи очистных комбайнов со шнековым исполнительным органом / Э. Крумменауэр, М. Баструкк // Уголь. - 2008.- № 7. - С. 19–21.
55. Кудряшов, В. В. О непрерывном контроле пылеотложения в горных выработках угольных шахт / В. В. Кудряшов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология : сб. науч. тр. по материалам симпозиума «Неделя горняка-2007». - Москва, 2007. - № ОВ12. - С. 58–70.
56. Шубин, Р. А. Надёжность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / Р. А. Шубин. – Тамбов : ТГТУ, 2012. – 80 с.
57. Ветошкин, А. Г. Надёжность технических систем и техногенный риск / А. Г. Ветошкин. - Пенза : Изд-во ПГУАиС, 2003. - 154 с. : ил.
58. Бурчаков, А. С. Рудничная аэрология / А. С. Бурчаков, П. И. Мустель, К. З. Ушаков. - Москва : Недра, 1971. - 376 с.
59. Кудинов Ю.В. Взрывные работы в угольных шахтах : учеб. пособие для студентов горн. спец. вузов / Ю. В. Кудинов [и др.]. - Донецк : Ноулидж, 2013. – 190 с.
60. Мясников, А. А. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А. А. Мясников, С. П. Старков, В. И. Чикунов. - Москва : Недра, 1985. - 205 с.
61. Феськов, М. И. О совершенствовании пылевого мониторинга // Окружающая среда – человек, ресурсосбережение : сб. науч. тр. - Алчевск, 1999. - Вып. 2, т. 1. - С. 196–202.

62. Феськов, М. И. Повышение надежности контроля пылевзрывобезопасности в угольных шахтах / М. И. Феськов, В. Н. Окалелов // Безопасность жизнедеятельности на пороге XXI века : материалы междунар. конф. - Алушта, 1999. - С. 51–54.

63. НПАОП 0.00-1.66-13. Правила безопасности при обращении со взрывоопасными материалами промышленного назначения [Электронный ресурс] : Указ М-ва энергетики и угольн. пром-сти Украины от 12.06.2013, № 355. - Электрон. дан. - Киев, 2013. - Режим доступа: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-1_66-13_01_ru.php. - Загл. с экрана.

64. Правила безопасности при взрывных работах [Электронный ресурс] : федерал. нормы и правила в обл. пром. безопасности, утв. приказом федерал. службы по эколог., технолог. и атом. надзору от 16 дек. 2013 г., N 605. - Электрон. дан. - [Россия] : [б. и.], 2013. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499066484>. - Загл. с экрана.

65. Ващенко, В. И. Пыль угольных шахт [Электронный ресурс] / В. И. Ващенко, А. К. Носач, В. В. Яворович. - Электрон. дан. - Донецк, 2011. - Режим доступа: ea.donntu.edu.ua:8080/handle/123456789/5763/simple-search? - Загл. с экрана.

66. Горлов, Ю. В. Принципы локализации взрывов пылеметановоздушных смесей автоматическими системами в горных выработках / Ю. В. Горлов, А. Ю. Горлов // Проблемы аэрологии и безопасности горных предприятий. - 2006. – № 7. - С.70–74.

67. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 1. Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов. Пожарная сигнализация : учебник / А. А. Навацкий [и др.]. - Москва : Академия ГПС МЧС России, 2005. - 335 с.

68. Васильева, И. В. Актуальные вопросы мониторинга породных отвалов угольных шахт и охраны окружающей среды / И. В. Васильева // Минеральные ресурсы Украины. - 2015. - № 3. - С. 39-45.

69. Правила пожарной безопасности для предприятий угольной промышленности ДНР [Электронный ресурс] : утв. приказом МЧС ДНР от 31.05.2016, № 517. – Электрон. дан. - Донецк, 2016. – Режим доступа: http://old.dnr-online.ru/wpcontent/uploads/2016/07/PrikazMChS_N517_3105016.pdf. – Загл. с экрана.

70. О пожарной безопасности [Электронный ресурс] : закон ДНР : принят постановлением Народного Совета ДНР № 151 от 30.09.2016 г. – Электрон. дан. - Донецк, 2016. – Режим доступа: <http://old.dnr-online.ru/wp>

content/uploads/2016/10/ZakonNS_151_INS_Pozh_Bezopnst.pdf. – Загл. с экрана.

71. Васильева, И. В. Актуальные вопросы мониторинга породных отвалов угольных шахт и окружающей среды / И. В. Васильева // Мінеральні ресурси України. - 2015. - № 3. - С. 39-45.

72. Модель и химический состав пылевого колпака над поверхностью шахты / В. Б. Малеев [и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету / ДВНЗ "ДонНТУ" ; редкол.: Є. О. Башков(гол. ред.) [та ін.]. - Донецьк, 2011. - С. 173-180. - (Серія : Хімія і хімічна технологія ; вип. 16(184).

73. Кузык, И. Н. Формирование критериев экологической опасности породных отвалов шахт / И. Н. Кузык // Экология и природопользование. - 2009. - Вып. 12. – С. 156.

74. Пек, Ф. Оценка рисков в Донецком бассейне. Закрытие шахт и породных отвалов / Ф. Пек. – Киев : Техника, 2008. – 171 с.

75. Кузык, И. Н. Оценка влияния породных отвалов шахт центрального Донбасса на окружающую среду / И. Н. Кузык, В. Н. Артамонов // Сталій розвиток гірничо-металургійної промисловості : зб. доп. міжнар. наук.-техн. конф., м. Кривий Ріг, 18-23 трав. 2004. – Кривий Ріг, 2004. – Т. 1. – С. 351-354.

76. Канин, В. А. Комплексное решение экологических проблем в крупных промышленных районах / В. А. Канин, М. Г. Тиркель, Н. Н. Киселев // Уголь Украины. - 2004. - № 9. - С. 44-46.

77. Заболотный, А. Г. Экологические проблемы в угольной промышленности Украины / А. Г. Заболотный, Е. В. Григорюк // Уголь Украины. - 2002. – № 12. - С. 25-28.

78. Папушин, Ю. Л. Вспомогательные процессы обогащения : конспект лекций / Ю. Л. Папушин. – Донецк : ДонНТУ, 2008. - 92 с.

79. Чуянов, Г. Г. Вспомогательные процессы обогащения. Обезвоживание и пылеулавливание : учеб. для вузов / Г. Г. Чуянов. - 2-е изд., доп. и перераб. - Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2006. - 204 с.

80. Чуянов, Г. Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды : учеб. для вузов / Г. Г. Чуянов. - Москва : Недра, 1987 - 260 с.

81. Руденко, К. Г. Обезвоживание и пылеулавливание / К. Г. Руденко, М. М. Шемаханов. - Москва : Недра, 1981. - 351 с.
82. Рыжик, Л. А. Гигиена труда на фабриках обогащения металлических руд / Л. А. Рыжик. - Москва : Медицина, 1968. - 81 с.
83. Российская энциклопедия по медицине труда / гл. ред. Н.Ф. Измеров. - Москва : Медицина, 2009. - 656 с.
84. Овчаренко, В. Л. Методы борьбы с запылённостью на фабриках по обогащению угля / В. Л. Овчаренко, В. А. Копарев // Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий : сб. науч. тр. IV науч.-техн. конф. молодых учёных, студентов и аспирантов. - Донецк, 2016. – С. 94-99.
85. Овчаренко, В. Л. Средства индивидуальной защиты как фактор сохранения здоровья шахтёров / В.Л. Овчаренко, А. А. Семейко // Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий : сб. науч. тр. IV науч.-техн. конф. молодых учёных, студентов и аспирантов. - Донецк, 2016. – С. 124-128.
86. Временное руководство по борьбе с пылью на угольных разрезах / НИИ ОГР [Электронный ресурс]. - Введ. 2017-02-01. - Электрон. дан. - Москва, 2017. - Режим доступа: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293750041>. - Загл. с экрана.
87. Руденко, К. Г. Обезвоживание и пылеулавливание при переработке полезных ископаемых / К. Г Руденко., А. В. Калмыков. – Москва : Недра. 1988. - 351 с.
88. Грязев, А. Угольные терминалы и экологическая безопасность / А. Грязев // Порты Украины. - 2005. -№ 5(55). – С. 40-45.